

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

EL EUCALIPTO EN LA GESTIÓN DE ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS DE ASTURIAS: ESTUDIO MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y SIG



Autora: Bárbara Casares Santiago

Tutora: María Eugenia Pérez González

Máster en Tecnologías de la Información Geográfica

Junio 2011

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a todas las personas que me animaron a pedir un año de excedencia en el trabajo para lanzarme a estudiar este Máster y tener la oportunidad de reorientar mi carrera profesional.

A mi familia por la paciencia que han tenido cuando yo ocupaba el ordenador para trabajar durante días enteros.

A los profesores del Máster por todo lo que me han enseñado y que espero me sirva para alcanzar los objetivos que me he propuesto.

A las personas del CIFOR con quienes realicé las prácticas por facilitarme información y consejos.

ÍNDICE

1.	Introducción	pág. 6
1.1.-	La polémica del eucalipto en Asturias.....	pág. 6
1.2.-	La RREN (Red Regional de Espacios Naturales Protegidos de Asturias) y la gestión del eucalipto	pág. 7
1.3.-	La teledetección y las herramientas SIG para el estudio de Espacios Naturales Protegidos	pág. 12
2.	Justificación y objetivos.....	pág. 13
3.	Materiales y métodos.....	pág. 14
3.1.-	Información disponible: capas e imágenes Landsat y Spot	pág. 14
3.2.-	Área de estudio	pág. 16
3.3.-	Teledetección de masas de eucalipto en imágenes de satélite	pág. 17
3.4.-	Evolución del eucalipto en la RREN.....	pág. 20
3.5.-	Factores de distribución del eucalipto	pág. 22
3.6.-	Distribución espacial de las plantaciones de eucaliptos en Asturias	pág. 28
4.	Resultados	pág. 31
4.1.-	Análisis de la evolución del eucalipto en los ENP.....	pág. 31
4.2.-	Análisis de distribución espacial del eucalipto en Asturias	pág. 39
5.	Conclusiones.....	pág. 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Red Regional de Espacios Naturales Protegidos de Asturias	pág. 8
Tabla 2.	Espacios Naturales Protegidos con presencia de eucaliptos según el IFN3	pág. 10
Tabla 3.	Imágenes de satélite disponibles	pág. 15
Tabla 4.	Superficie de eucaliptos en los ENP de Asturias.....	pág. 31
Tabla 5.	Relación de usos del suelo en zonas de cultivos de eucalipto	pág. 36
Tabla 6.	Distribución de usos del suelo en los ENP con presencia de eucalipto.....	pág. 37
Tabla 7.	Resultados del análisis GWR.....	pág. 39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Red Regional de Espacios Naturales Protegidos de Asturias	pág. 7
Ilustración 2. Comarcas de Gestión Forestal.....	pág. 8
Ilustración 3. Especies forestales dominantes en la RREN.....	pág. 9
Ilustración 4. ENP de Asturias con presencia de plantaciones de eucaliptos según el IFN3.....	pág. 10
Ilustración 5. Especies forestales dominantes en los ENP con eucaliptos.....	pág. 11
Ilustración 6. Comparación anual enero-junio de 2009 mediante el índice de vegetación. Paisaje Protegido de Cabo Peñas	pág. 17
Ilustración 7. Índice de vegetación. P.P. Cabo Peñas.....	pág. 18
Ilustración 8. Mejoras espectrales. Color natural. P.P. Cuenca del Esva	pág. 18
Ilustración 9. Localización de masas de eucalipto en imágenes SPOT (PNT 262-27) en color natural.....	pág. 18
Ilustración 10. Identificación de masas de eucalipto en imágenes SPOT (PNT 262-25) en falso color	pág. 19
Ilustración 11. Análisis de cambios en la R.N.P. Sierra del Suevo, entre 2007 y 2009.....	pág. 19
Ilustración 12. Clasificación no supervisada. P.P. Cabo Peñas.....	pág. 20
Ilustración 13. Editando las zonas de eucaliptos	pág. 20
Ilustración 14. Editando las parcelas de eucaliptos en el P.P. Cuenca del Esva.....	pág. 21
Ilustración 15. Diferencia entre eucaliptos adultos y eucaliptos jóvenes.....	pág. 21
Ilustración 16. Zonas de distribución de las parcelas de eucalipto.....	pág. 22
Ilustración 17. Mapa de pendientes y mapa de orientaciones. Asturias.....	pág. 23
Ilustración 18. Mapa de temperatura media	pág. 24
Ilustración 19. Precipitación anual acumulada	pág. 25
Ilustración 20. Factores antrópicos. Distribución de eucaliptales en relación con asentamientos	pág. 26
Ilustración 21. Factores antrópicos. Distribución de incendios forestales	pág. 27
Ilustración 22. Mapa coroplético de abundancia de eucaliptos por municipio.....	pág. 28
Ilustración 23. Matriz de correlaciones bivariadas	pág. 29
Ilustración 24. Resultados del análisis de regresión múltiple OLS.....	pág. 29
Ilustración 25. Resultados del índice de Moran.....	pág. 30
Ilustración 26. Distribución del eucalipto por altitud	pág. 32
Ilustración 27. Histograma de pendientes en zonas de cultivo de eucalipto	pág. 33

Ilustración 28. Distribución por pendientes de los cultivos de eucalipto en Asturias	pág. 33
Ilustración 29. Cultivos de eucalipto en laderas	pág. 34
Ilustración 30. Distribución del eucalipto por orientación de ladera	pág. 34
Ilustración 31. Histograma de temperatura media en zonas de cultivo de eucalipto	pág. 35
Ilustración 32. Detalle de distribución del eucalipto según Temperatura	
Media Anual.....	pág. 35
Ilustración 33. Detalle de la distribución del eucalipto según Precipitación	
Anual acumulada	pág. 36
Ilustración 34. Distribución de parcelas de eucalipto respecto a asentamientos	pág. 38
Ilustración 35. Distribución de eucaliptales por factores antrópicos	pág. 38
Ilustración 36. Localización de eucaliptales respecto a zonas de incendios.....	pág. 39
Ilustración 37. Representación gráfica de resultados del análisis GWR	pág. 40
BIBLIOGRAFÍA	pág. 42

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.-La polémica del eucalipto en Asturias

El eucalipto (*Eucalyptus globulus*), procedente de Australia, comenzó a plantarse en Asturias a partir del Plan General de Repoblación de 1941. Debido a sus características (rapidez de crecimiento, facilidad de rebrote sin necesidad de cuidados, poco exigente en cuanto al suelo...) se empezó a mantener y cultivar como monte productivo, fundamentalmente para la fabricación de pasta de papel a partir de su celulosa.

En la península ibérica, el cultivo de eucalipto ocupa alrededor de un millón y medio de hectáreas en masas puras o mezcladas; constituyendo su mercado, parte clave en el tejido industrial y en la dinamización del medio rural y el sector forestal.

En Asturias, la superficie de eucaliptales plantada supone en la actualidad aproximadamente el 14% de la superficie arbolada (estimada en 419.245 hectáreas según el Director General de Política Forestal del Gobierno del Principado de Asturias, Arce, 2010). La expansión del eucalipto, que ha ido sustituyendo a los bosques autóctonos y ocupando prados y terrenos en desuso en toda la zona costera y en las zonas bajas del interior, hasta ahora tan sólo ha estado limitada en altitud debido a la intolerancia de esta especie a las heladas.

La eficiencia de la explotación del eucalipto queda demostrada viendo su imparable expansión. La producción anual en Asturias alcanza prácticamente las 900.000 toneladas, mientras la demanda mundial crece cada año.

Con el nacimiento del movimiento social ecologista, a finales de los ochenta, empezó a elevarse la voz en contra del cultivo del eucalipto, y la alarma sobre su excesiva proliferación está ya muy arraigada. Año tras año, surgen nuevos artículos en la prensa sobre el tema recurrente del conflictivo eucalipto ("El eucalipto en Asturias", AsturiasVerde.com 20-Mayo-2007; "Chequeo a una especie polémica. Asturias pretende frenar la expansión del eucalipto", La Voz de Galicia, 20-Enero-2009; "Eucalipto, el monte productor", La Nueva España, 24-Marzo-2010; "El eucalipto ya supera en 12.000 hectáreas la previsión del Plan Forestal para 60 años", La Nueva España, 13-Mayo-2010; etc.).

Recientemente además (el 16 de marzo de 2011) se publicó un manifiesto ecologista firmado por diversas asociaciones y titulado *Una visión común sobre el problema de las plantaciones de eucalipto*, donde se realizan una serie de propuestas para "solucionar la conflictividad social y ambiental de las plantaciones de eucalipto".

El estudio de los efectos del eucalipto sobre el medio es complejo y existe una gran controversia al respecto. En la actualidad se defiende el uso racional y sostenible del eucalipto, desde la Dirección General de Política Forestal, incrementado la productividad sin aumentar la superficie de plantación, habiéndose prohibido nuevas plantaciones de eucalipto desde 2009, especialmente en los ENP.

1.2.- La RRENP (Red Regional de Espacios Naturales Protegidos de Asturias) y la gestión del eucalipto

La Ley de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna silvestres, Ley 4/89, define las categorías de espacios protegidos y establece los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) como sus instrumentos de gestión. Establece cuatro figuras de protección que en el PORN de Asturias (PORNA) se engloban dentro de la llamada Red Regional de Espacios Naturales Protegidos de Asturias (RRENP):

Parques: áreas naturales poco transformadas por la explotación u ocupación humana, que por la belleza de sus paisajes, la representatividad de sus ecosistemas o la singularidad de su flora, de su fauna o de sus formaciones geomorfológicas, poseen unos valores ecológicos, estéticos, educativos y científicos cuya conservación merece una tención preferente. El PORNA contempla tanto la figura Parque Nacional como la de Parque Natural.

Reservas: espacios naturales cuya creación tiene como finalidad la protección de ecosistemas, comunidades o elementos biológicos que por su rareza, fragilidad, importancia o singularidad merecen una valoración especial y en los que se limita la explotación de los recursos, salvo que ésta sea compatible con los objetivos de conservación. Pudiendo ser una protección integral o parcial (Reserva Natural Integral, Reserva Natural Parcial).

Paisajes Protegidos: lugares concretos del medio natural que, por sus valores estéticos y culturales, sean merecedores de protección especial.

Monumentos Naturales: espacios o elementos de la naturaleza constituidos básicamente por formaciones de notoria singularidad, rareza o belleza, merecedores de protección especial, entre los que se incluyen formaciones geológicas, yacimientos paleontológicos, etc. con relevancia desde el punto de vista científico, cultural o paisajístico.

La RRENP de Asturias está formada por los siguientes espacios ([Ilustración 1](#) y [Tabla 1](#)):

Ilustración 1. Red Regional de Espacios Naturales Protegidos de Asturias



Tabla 1. Red de Espacios Naturales Protegidos de Asturias

FIGURA DE PROTECCIÓN	NOMBRE
Parque Nacional	Picos de Europa.
Parque Natural	Degaña e Ibias, Fuentes del Narcea, Las Ubiñas-La Mesa, Ponga, Redes y Somiedo.
Reserva Natural Integral	Muniellos
Reserva Natural Parcial	Barayo, Cueto de Arbás, Cueva de las Caldas, Cueva del Lloviu, Cueva del Sidrón, Cueva Rosa, Peloño, Ría del Eo y Ría de Villaviciosa.
Paisaje Protegido	Cabo Peñas, Costa Occidental, Costa Oriental, Cuenca del Esva, Cuencas Mineras, Peña Ubiña, Pico Caldoveiro, Sierra de Cuera, Sierra del Áramo, Sierra del Sueve y Sierras de Carondio y Valledor.
Monumento Natural	Alcornocal de Boxu, Carbayón de Lavandera, Carbayón de Valentín, Carbayera de Tragamón, Cascadas de Oneta, Conjunto lacustre de Somiedo, Cueva de Deboyo, Cueva Huerta, Cuevas de Andina, Desfiladero de las Xanas, El Bufón de Santiuste, Entrepeños y Playa de Vega, Fayona de Eiros, Hoces del Esva, Isla de La Deva y Payón de Bayas, La Charca de Zeluán y Ensenada de Lloredo, La Playa de Gulpiyuri, La Ruta del Alba, La Torca Urriellu, La Turbera de las Dueñas, Las Foces de El Pino (Aller), Los Bufones de Arenillas, Los Yacimientos de Icnitas de Asturias (15), Meandros del Nora, Playa de Cobijeru, Playa de El Espartal, Playa de Frexulfe, Playa de Penarronda, Puertos de Marabio, Red de Toneyu, Roble de Bermiego, Saucedas de Buelles, Sistema del Jitu, Sistema del Trave, Tabayón de Mongayo, Tejo de Bermiego, Tejo de Lago, Tejo de Pastur, Tejo de Salas, Tejo de Santa Coloma y Tejo de Santibañez de la Fuente.

Son 69 espacios que suman 352.746 hectáreas protegidas, lo que supone el 33% del territorio asturiano.

El Plan Forestal de Asturias (PFA), divide el territorio asturiano en Comarcas Forestales o Comarcas de Gestión Forestal, formadas por zonas que presentan características homogéneas desde el punto de vista forestal, económico y social, para facilitar la planificación y la gestión ágil y sencilla de los montes.

Ilustración 2.

Comarcas de Gestión Forestal



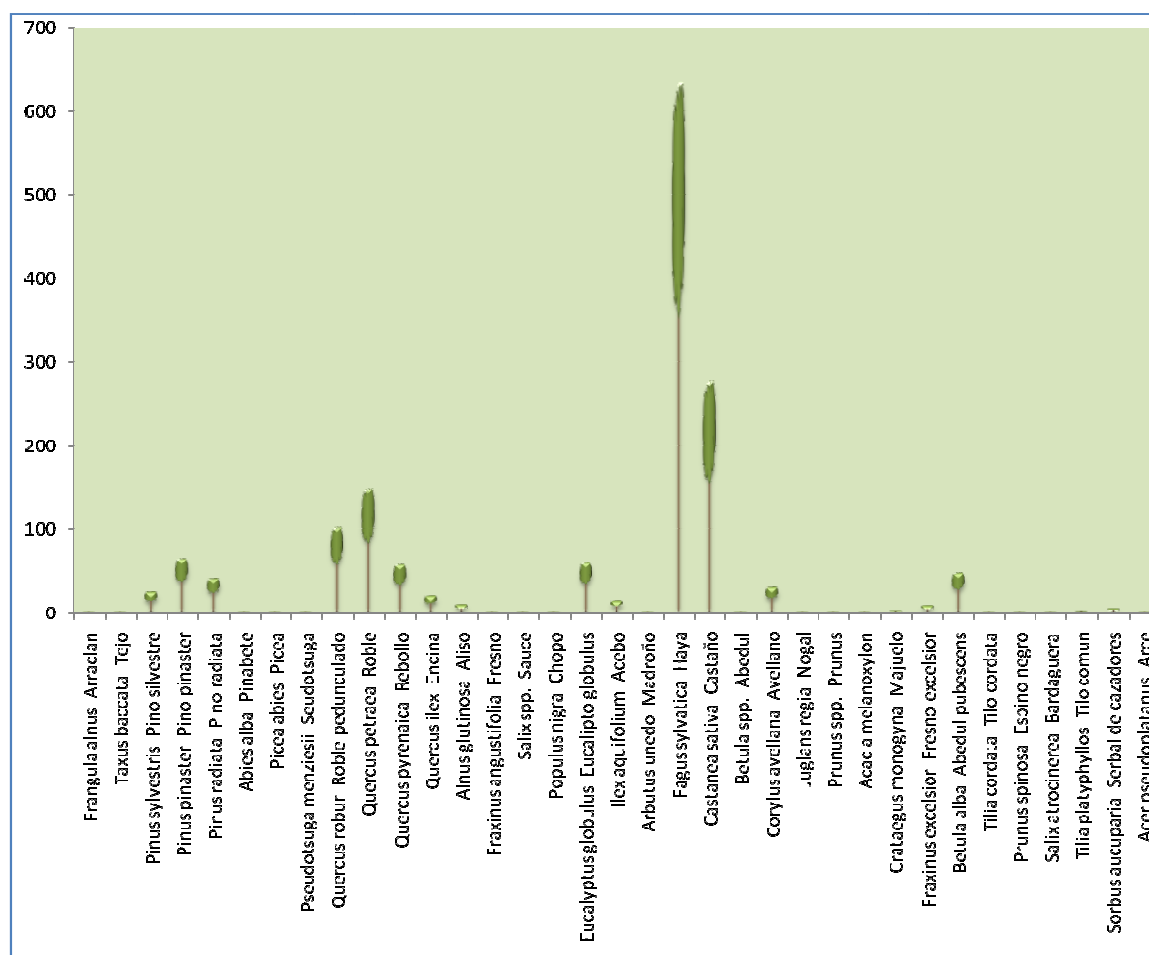
Cada Comarca Forestal tiene su propio Plan Forestal (elaborados en Septiembre de 2010) donde se recoge la planificación y las propuestas de actuación forestal prioritarias para el cumplimiento de la política

forestal según lo dispuesto en el PFA y compatibilizando con los planes e instrumentos de ordenación de los terrenos pertenecientes a la RREN.

Aunque el PORN constituye el Documento Marco para la protección de los recursos naturales de Asturias, en función de la figura de protección de cada ENP existe un instrumento de ordenación diferente, así cada Parque y Reserva tiene su propio Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG), los Paisajes Protegidos tienen un Plan Protector y los Monumentos Naturales tienen una normativa de protección incluida en el Decreto que los declara. Además el PORN se publicó en 1994 y es necesaria una revisión del mismo para adaptar la normativa a las nuevas condiciones del entorno, y a la normativa europea (integración de las diferentes redes de protección, redefiniendo las tipologías de espacios y sus instrumentos de gestión, formulación de directrices de gestión comunes, criterios de coordinación con los instrumentos de ordenación territorial y planeamiento urbanístico, promover nuevas intervenciones de restauración y conservación y el desarrollo de la normativa legal en materia de protección – Dirección General de Recursos Naturales y Protección Ambiental-).

Las principales especies forestales que encontramos en los ENP, según el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3, 1998) las encontramos en la siguiente ilustración ([Ilustración 3](#)).

Ilustración 3. Especies forestales dominantes en la RREN, millares de hectáreas.



Fuente: IFN3 elaborado en 1998 en el Principado de Asturias.

La especie dominante en los terrenos protegidos en el PORN es el haya, seguido del castaño que sólo alcanza la mitad de extensión que el haya; a continuación el roble y después aproximadamente por igual el pino pinaster, el eucalipto y el rebollo. Es decir, encontramos el

eucalipto, especie alóctona y extranjera como la sexta especie forestal más abundante en los espacios protegidos de Asturias.

Los ENP que según el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3, 1998) tienen presencia de eucaliptos son tan sólo 21 de los 69 que conforman la RREN (Tabla 2, Ilustración 4).

Tabla 2. ENP con presencia de eucalipto según el IFN3

R.N.P. Barayo
P.P. Cabo Peñas
P.P. Costa Occidental
P.P. Costa Oriental
P.P. Cuenca del Esva
R.N.P. Cueva del Lloviu
R.N.P. Cueva del Sidrón
R.N.P. Cueva Rosa
M.N. Cuevas de Andina
M.N. Hoces del Esva
M.N. La Charca de Zeluán y Ensenada de Lloredo
M.N. La Turbera de las Dueñas
M.N. Los Yacimientos de Icnitas de Asturias
M.N. Playa de Frexulfe
P.N. Redes
R.N.P. Ría de Villaviciosa
R.N.P. Ría del Eo
P.P. Sierra del Cuera
P.P. Sierra del Sueve
P.P. Sierras de Carondio y Valledor
M.N. Tejo de Salas
R.N.P.: Reserva Natural Parcial, P.P.: Paisaje Protegido, M.N.: Monumento Natural, P.N.: Parque Natural

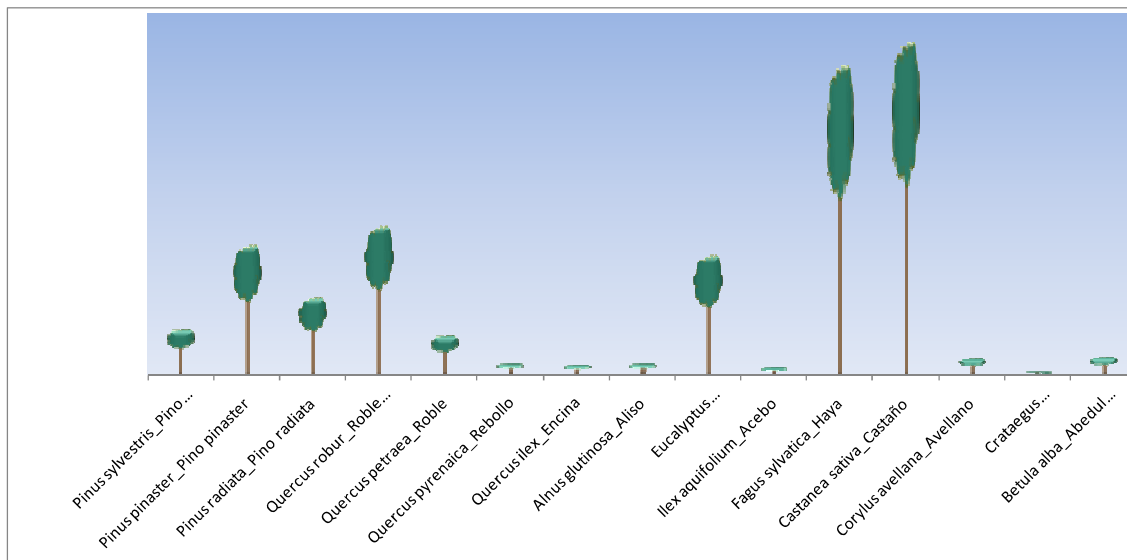
Ilustración 4. Espacios naturales protegidos de Asturias con presencia de plantaciones de eucalipto según el IFN3



Las especies forestales dominantes en estos ENP son (Ilustración 5):

Castanea sativa	Pinus pinaster	Pinus sylvestris
Fagus sylvatica	Eucalyptus globulus	Quercus petraea
Quercus robur	Pinus radiata	Betula alba

Ilustración 5. Especies forestales dominantes en los ENP con eucaliptos



Fuente: IFN3 elaborado en 1998 en el Principado de Asturias.

El eucalipto se encuentra como única especie forestal en algunos de estos ENP (Cueva del Lloviu, Ría de Villaviciosa, etc.), y como especie dominante sólo en la R.N.P. de la Sierra del Sueve, y en el P.P. Cabo Peñas.

Lo que encontramos en los instrumentos de gestión sobre el eucalipto, se resume en lo siguiente:

- en las Reservas (a través de los PRUG), uso prohibido para repoblaciones con eucalipto y otras especies no autóctonas; uso permitido para mantenimiento de plantaciones de eucalipto sin aumentar su superficie (R.N.P. Cueva del Lloviu, R.N.P. Cueva del Sidrón y en alguna zona de la R.N.P. Ría de Villaviciosa), ayudas técnicas y económicas para su sustitución por especies forestales autóctonas en la mayoría de los casos, pero fundamentalmente queda prohibido el uso para nuevas plantaciones de eucalipto en zonas donde no existieran previamente
- en los Paisajes Protegidos (a través de los Planes Protectores) prohibidas las plantaciones de eucaliptos en P.P. Cuencas Mineras; el resto de Planes Protectores no están aprobados
- en los Monumentos Naturales (a través del Decreto que los declara) prohibidas las nuevas plantaciones con especies no autóctonas

Sin entrar en términos económicos y sociales sobre la plantación de eucaliptos, cabe pensar que, siempre que su existencia no ponga en peligro los valores a proteger y por los que fueron designados estos espacios, un uso compatible y una correcta gestión de las plantaciones existentes pueden coexistir con un territorio protegido.

1.3.- La teledetección y las herramientas SIG para el estudio de Espacios Naturales Protegidos

Las nuevas Tecnologías de la Información Geográfica permiten una amplísima gama de aplicaciones e investigaciones nuevas cada día. Su empleo en el estudio de ENP da alas a la planificación y la gestión de estos espacios.

El uso de la teledetección permite el estudio de diferentes aspectos del territorio protegido como la litología, el estado de lagos y lagunas naturales, la vegetación o los cultivos por citar sólo algunas de las aplicaciones posibles. La teledetección permite una fácil actualización de la información debido a la frecuencia de obtención de imágenes, permitiendo el análisis de modificaciones en el medio natural, y sirviendo como apoyo a la toma de decisiones en la ordenación del territorio sobre una base fiable.

Las herramientas SIG no solamente proporcionan la capacidad de almacenamiento de información referenciada geográficamente, es decir, que tiene un lugar en el espacio, si no que permite la realización de diferentes tipos de análisis para la planificación y gestión de los ENP:

- Disponibilidad de tanta información como pueda existir sobre un territorio, en forma de bases de datos o bien asociada a su representación cartográfica mediante capas temáticas
- Obtención de cartografía precisa y de rápida consulta
- Mediciones espaciales de distancias, perímetros y áreas y localización de coordenadas
- Obtención de información nueva mediante superposición de capas temáticas (cálculo de zonas óptimas, mínimo impacto, etc.)
- Localización de especies amenazadas y establecimiento de áreas de protección
- Control del cumplimiento de la normativa
- Análisis de recursos forestales y planificación de su gestión sostenible
- Planificación de recursos dentro del ENP (turísticos, recreativos, deportivos, de emergencia, etc.)
- Cálculo de áreas de influencia para establecer límites de protección o zonificación por usos
- Localización de puntos de observación del territorio del ENP partiendo del modelo digital del terreno,
- Control de acceso y movimiento dentro del ENP tanto para control de la gestión, planes de emergencias, canalización de visitas y uso recreativo, a través del análisis de redes
- Control y seguimiento de riesgos
- Seguimiento de actuaciones de protección y remediación y control de actividades permitidas
- Estudio de rutas y señalización de sendas

Éstas son sólo algunas de las muchas aplicaciones de las TIG para la gestión y planificación de ENP, pero las posibilidades son infinitas.

2.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Las técnicas SIG y de teledetección aportan numerosas ventajas a la hora de planificar y gestionar ENP como ya hemos comentado. El seguimiento de actuaciones, es una de ellas y en este caso la aplicación consistiría en realizar el control del número y extensión de las plantaciones de eucaliptos, para lo cual estas técnicas añaden sencillez, rapidez y fiabilidad en la interpretación de los resultados.

La polémica histórica y permanente sobre la extensión del eucalipto en Asturias, las acusaciones sobre la mala gestión forestal de esta especie, las críticas a su presencia en los espacios naturales protegidos y las posibilidades de aplicación de las TIG en la planificación y gestión de ENP, motiva la elección del tema para la elaboración del presente estudio como Trabajo Final del Máster en Tecnologías de la Información Geográfica.

Mediante este trabajo se pretende estudiar la distribución de las plantaciones de eucalipto en los ENP de Asturias en 2009 (por no tener información más actualizada) tomando como referencia la distribución existente en 1998, cuando se llevó a cabo el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3).

Los objetivos son, por un lado analizar la gestión del eucalipto mediante el estudio de la evolución de dichas plantaciones y comprobar si ha aumentado su superficie o ha disminuido; por otro lado analizar las condiciones del medio sobre las que se desarrolla el eucalipto en esos Espacios Naturales y por último estudiar si la distribución de las plantaciones existentes en todo el territorio del Principado sigue algún patrón espacial; todo ello mediante teledetección de imágenes de satélite de resolución media y herramientas SIG.

3.- MATERIAL Y MÉTODO

3.1.- Información disponible: capas e imágenes Landsat y Spot

Uno de los problemas a la hora del empleo de herramientas SIG es la necesidad de material digital, lo que llamamos “capas” temáticas en formato SHAPE. Sin entrar en la mayor o menor facilidad para disponer actualmente de dicha información, para el presente trabajo se ha contado con la inestimable colaboración de personal del Centro de Investigaciones Forestales (C.I.F.O.R.), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA, Ministerio de Ciencia e Innovación). Las capas temáticas facilitadas en el C.I.F.O.R. son:

- Límites administrativos de CCAA, provincias y municipios
- Malla climática (Gonzalo, J. -2010-. Diagnóstico fitoclimático de la España peninsular. Hacia un modelo de clasificación funcional de la vegetación y de los ecosistemas peninsulares españoles. Serie Técnica: Naturaleza y Parques Nacionales)
- Mapa Forestal Nacional 1:50.000 (IFN3)
- Espacios Naturales Protegidos
- Usos del suelo

Una de las fuentes de información disponibles para la obtención de capas es el Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN, www.ign.es), de donde se han obtenido:

- Usos del suelo: Corine Land Cover 1990, CLC 2000 y CLC 2006
- Modelo Digital del Terreno 1:25.000

Desde la web Europarc (www.redeuroparc.org), se obtuvo una base de datos actualizada sobre la RREN de Asturias de 2009:

- Parques Nacionales
- Parques Naturales
- Reservas Naturales (integrales y parciales)
- Paisajes Protegidos
- Monumentos Naturales

Para el análisis mediante teledetección son necesarias imágenes de satélite y hoy en día se pueden obtener de manera gratuita una gran cantidad de ellas.

En los estudios de vegetación es muy importante obtener imágenes de fechas determinadas (cuando la vegetación esté más vigorosa, o en caso de estudio de especies caducifolias, que no sean imágenes de invierno), aunque en este caso, al tratarse de una especie frondosa perenne, lo importante será obtener imágenes que se vean bien (que no tengan nubes), aunque serán de especial interés las imágenes de invierno para distinguir al eucalipto del resto de frondosas.

Se han utilizado imágenes tanto del sensor Landsat 5 TM como del sensor Spot5. Por un lado se han obtenido las imágenes Landsat más antiguas (1990 y 2001) gracias a la GLCF (Global Land Cover Facility) del Departamento de Geografía de la Universidad de Maryland

(www.glcapp.glc.umd.edu); por otro lado se han obtenido imágenes Landsat y Spot (2005 a 2011) gracias al PNT (Plan Nacional de Teledetección) y el convenio con el IGN para facilitar imágenes Landsat y Spot para investigación (www.ign.es/PNT).

Tabla 3. Imágenes de satélite disponibles

Fuente	Sensor	Escena		Año	Mes
		Path	Row		
GLCF	Landsat 5 TM	203	30	1990	Agosto
GLCF	Landsat 7 TM	203	30	2001	Junio
PNT	Landsat 5 TM	202	30	2005	Octubre
				2006	Junio
				2008	Junio
				2010	Abril
PNT	Landsat 5 TM	203	30	2005	Mayo
				2005	Septiembre
				2008	Octubre
				2009	Agosto
				2009	Septiembre
				2010	Febrero
				2010	Junio
				2010	Septiembre
PNT	Spot 5	262	25	2005	Enero
				2007	Diciembre
				2009	Enero
				2009	Septiembre
PNT	Spot 5	262	27	2005	Enero
				2006	Noviembre
				2007	Enero
				2009	Junio
PNT	Spot 5	262	28	2005	Septiembre
				2007	Diciembre
				2008	Septiembre
				2009	Agosto
PNT	Spot 5	263	24	2007	Diciembre
PNT	Spot 5	263	25	2005	Abril
				2010	Noviembre
PNT	Spot 5	263	26	2008	Octubre
PNT	Spot 5	263	27	2005	Julio
				2006	Noviembre
				2007	Octubre
				2008	Junio
PNT	Spot 5	263	28	2005	Septiembre
				2009	Junio
PNT	Spot 5	263	29	2005	Noviembre
				2007	Noviembre

Por último, gracias al servicio WMS del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea www.idee.es/wms/PNOA/PNOA) se han utilizado las ortofotografías aéreas de Asturias (zona de vuelo fotogramétrico del proyecto PNOA 2009).

El software de teledetección utilizado ha sido ERDAS Imagine 2010, mientras que para el tratamiento SIG, el software empleado ha sido ArcGIS 10.

3.2.- Área de estudio

Antes de delimitar el área de estudio mediante Sistemas de Información Geográfica, surge el primer problema a solucionar: el datum de cada capa es diferente. El sistema de referencia oficial en España es el sistema de coordenadas europeo ETRS89, desde 2007 (Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España). Aunque los ajustes matemáticos de transformación tienen errores, es fundamental corregir las capas con datum diferente del oficial (ED50 y WGS84) para trabajar con la mayor precisión posible. Gracias a las herramientas de transformación disponibles en ArcGis, podemos ajustar lo máximo posible las capas (*Geographic Coordinate System Transformation*), trabajar sobre un “data frame” cuyo sistema de coordenadas sea ETRS89 y a continuación exportar las capas con el sistema de coordenadas correcto (*Data-Export data-use the same coordinate system as: the data frame*).

Uno de los primeros pasos para el tratamiento de información con herramientas SIG es la delimitación del área de estudio, de manera que se obtenga una cantidad de datos más ajustada al trabajo necesario y sobre todo más fácil de manejar.

El estudio se centra en los espacios naturales protegidos de Asturias, así que lo primero fue obtener una capa con el límite administrativo del Principado de Asturias a partir de la capa de comunidades autónomas, seleccionando en su tabla de atributos el registro correspondiente y exportando la capa (*Select by attributes, Data/Export data*). Con esta nueva capa se recortaron todas las capas de información disponibles con el límite administrativo de Asturias (herramienta *Analysis tools/Extract/Clip*). Para ajustar más aún el área de estudio fue necesario obtener una sola capa con todos los ENP que conforman la RREN, es decir, unir las capas que tenemos separadas por figuras de protección (herramienta *Data Management Tools/General/Merge*). Con esta nueva capa con los límites de los ENP se recortaron las capas temáticas (herramienta *Analysis tools/Extract/Clip*).

Como veremos más adelante parte del estudio se centra en los ENP con presencia de eucalipto según el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) cuya información tenemos en la tabla de atributos del Mapa Forestal Nacional. Se realizó una selección de las teselas del mapa forestal con mayor grado de presencia del eucalipto (SP1, SP2 y SP3) y se obtuvo una capa con esta información únicamente; se realizó una intersección de la capa de ENP con la capa de eucaliptos (*Analysis Tools/Overlay/Intersect*), de manera que obtenemos una capa de ENP con información de las teselas con presencia de eucaliptos. Si sobre esta última capa seleccionamos solamente los ENP con presencia de eucaliptos y la exportamos obtenemos sólo los ENP que tenían eucaliptos en 1998 cuando se realizó el IFN3. O bien podemos hacer una selección por localización espacial (*Select by location*) de la capa de eucaliptos que interseque con la de ENP y después exportar a una capa.

Con las imágenes de satélite ocurre lo mismo, es necesario obtener las zonas de estudio delimitadas para que la información sea más manejable.

Por un lado las imágenes obtenidas del GLCF estaban separadas en bandas, por lo que además de importarlas de *.tiff a *.img hay que juntar las bandas en una sola imagen (*Layer stack*). El resto de imágenes se importan a *.img directamente. Una vez que tenemos todas las imágenes

en formato imagine, es necesario recortarlas para obtener solamente los ENP y después sólo los ENP con eucaliptos; para ello, abrimos la capa de ENP y la convertimos en un archivo AOI (pegando en un nuevo archivo Area Of Interest -AOI- los objetos seleccionados en la capa shape) con el que podemos recortar las imágenes (*Subset image*).

3.3.- Teledetección de masas de eucalipto en imágenes de satélite

Sobre las imágenes recortadas con los ENP se procedió al análisis en busca de las que resultaran de mayor utilidad para el objetivo del trabajo. Las imágenes utilizadas finalmente han sido las obtenidas con el sensor SPOT5 por su mayor resolución espacial (5 metros) dado el detalle requerido a la hora de distinguir el eucalipto de entre otras frondosas por no disponer de imágenes de primavera.

Para localizar e identificar las masas de eucalipto se utilizó en primera instancia tanto la capa de usos del suelo como la capa del mapa forestal. Una vez localizada alguna de las masas de eucalipto, se procedió al tratamiento de las imágenes para obtener un índice que ayudara a identificar las masas que no estuvieran localizadas por el CLC o por el IFN3.

Tratamiento espectral de las imágenes

Los tratamientos espectrales que se han realizado para la identificación de vegetación son el índice de vegetación normalizado NDVI ($\frac{IR - R}{IR + R}$), el índice de vegetación ($IR - R$) y el color natural (*Spectral Enhancement/Indices y Spectral Enhancement/Natural Color*).

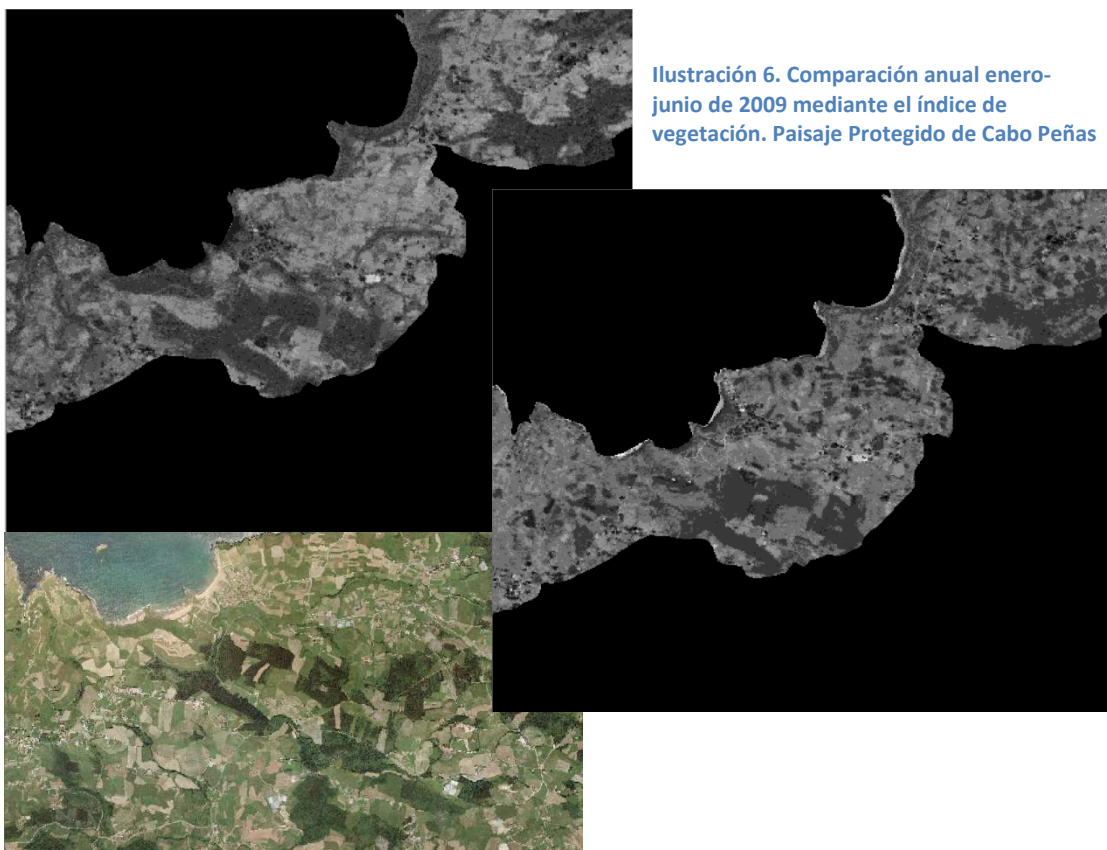


Ilustración 6. Comparación anual enero-junio de 2009 mediante el índice de vegetación. Paisaje Protegido de Cabo Peñas

Ilustración 7

**Índice de vegetación
P.P. Cabo Peñas**

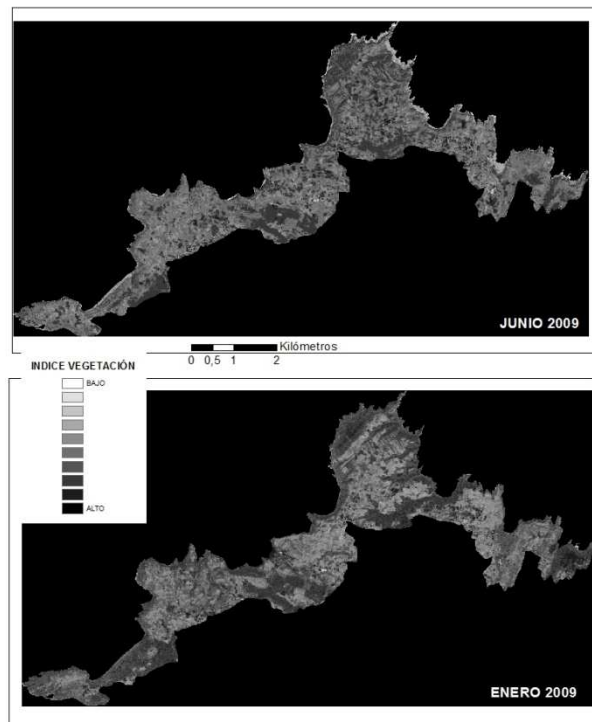


Ilustración 8

**P.P. Cuenca del Esva
Mejoras espectrales
COLOR NATURAL**



De estas mejoras espectrales la que ha resultado de mayor utilidad para distinguir el eucalipto es el color natural.

Ilustración 9. Localización de masas de eucalipto con ayuda de imágenes SPOT (PNT 262-27) en color natural

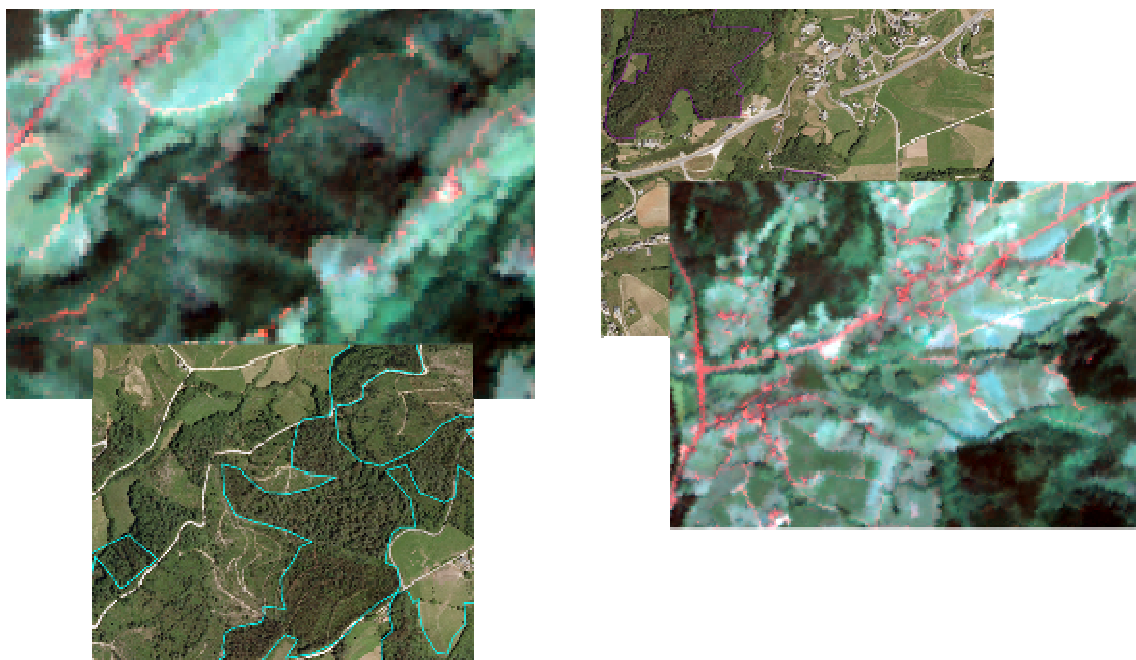


Ilustración 10. Identificación de masas de eucalipto en imágenes SPOT (PNT 262-25) en falso color.



Detección de cambios y clasificación no supervisada

Otra forma de identificar y distinguir las teselas de eucaliptos es mediante la función de Clasificación No Supervisada y mediante la función DFC (Discriminant Function Change Detection).

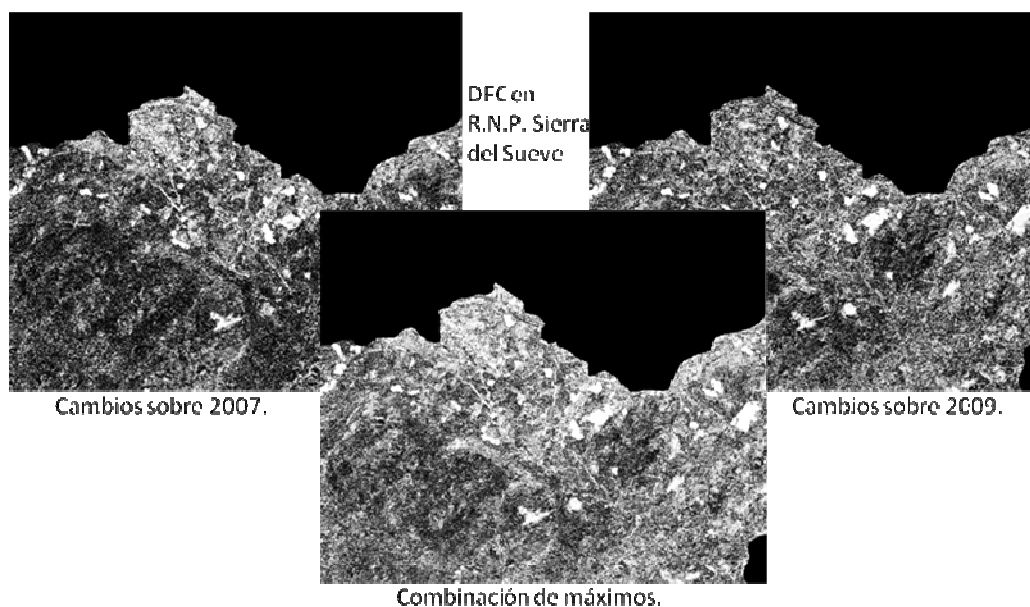
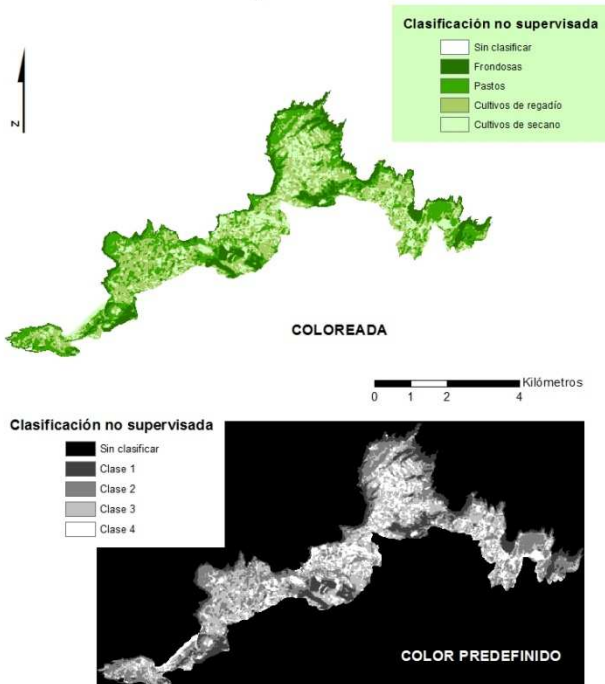


Ilustración 12

P.P. Cabo Peñas Clasificación NO supervisada



Estas funciones de detección de cambios son muy útiles a la hora de estudiar la evolución interanual de las plantaciones de eucaliptos.

El estudio de los cambios mediante el DFC requiere un trabajo minucioso y dada la extensión de superficie a analizar se ha desestimado su utilización por no resultar rentable.

La clasificación no supervisada (Ilustración 12), una vez coloreada es esclarecedora de los cambios en la vegetación. El trabajo que conllevaría la clasificación de la leyenda para cada ENP es bastante elevado para el tiempo disponible en este trabajo.

3.4.- Evolución del eucalipto en la RREN

El estudio de la evolución de las masas de eucalipto parte de la selección de los ENP que tenían presencia de eucalipto según el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) elaborado en 1998, y de la capa temática de dichos eucaliptos.

Sobre esta capa, con las ortofotografías del PNOA de 2009 y con el apoyo de las imágenes de satélite del sensor SPOT5 de 2009 (PNT-262-25, PNT-262-27, PNT-262-28, PNT-263-25, PNT-263-27, PNT-263-28 y PNT-263-29) convertidas a color natural, se han ido editando las parcelas de eucaliptos (*Edit features*).

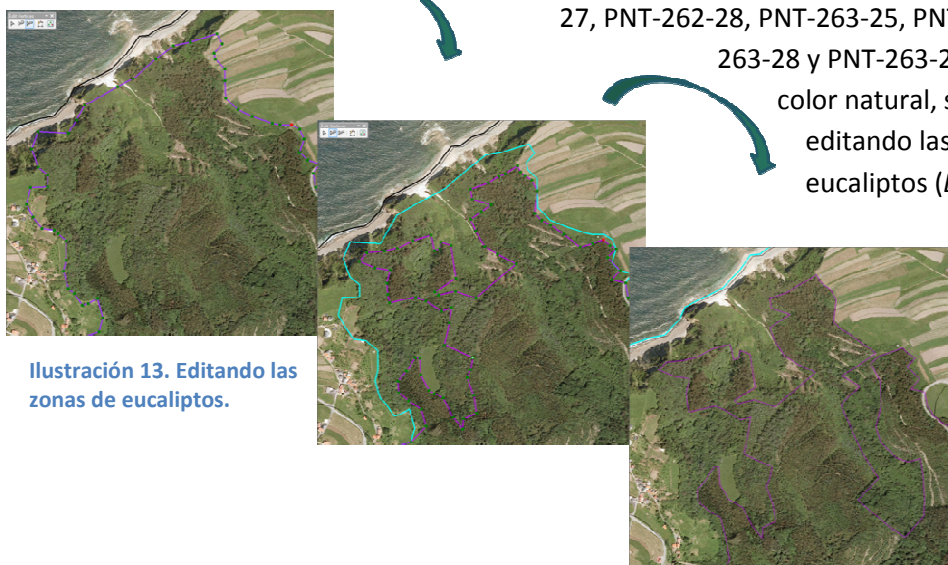


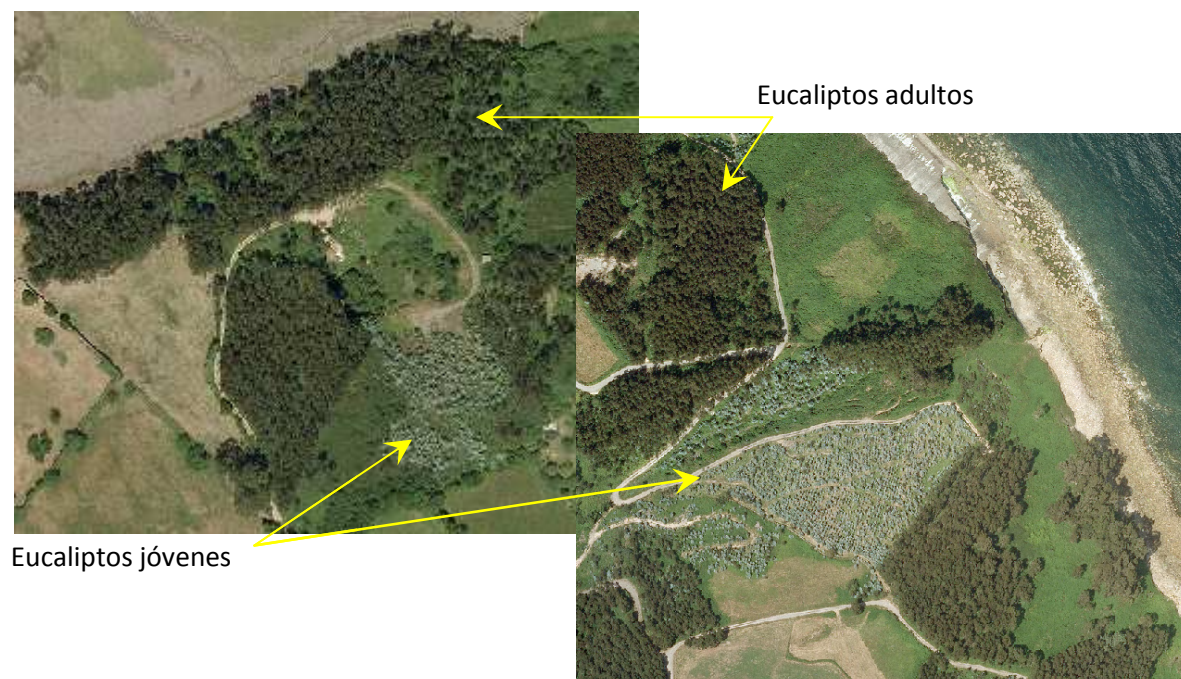
Ilustración 14

Editando las parcelas de eucalipto en el Paisaje Protegido de la Cuenca del Esva



Se editaron parcelas existentes, se eliminaron parcelas que ya no contenían eucaliptos, se crearon nuevos polígonos para delimitar parcelas nuevas ([Ilustración 9](#), [10 y 14](#)) y se recalculó el área de las parcelas.

Es destacable la utilidad de las ortofotografías con color real a la hora de distinguir las plantaciones en sus edades tempranas ya que esta especie cambia el color de la hoja desde un azul verdoso o grisáceo a un verde azulado y brillante de adulto, como podemos ver en la siguiente imagen de unas teselas de eucaliptos en la R.N.P. de la Ría de Villaviciosa ([Ilustración 15](#)):



El estudio de la evolución de las plantaciones de eucalipto dentro de un mismo año no es de interés, pero sí lo es de un año para otro ya esta especie es de crecimiento rápido y en 12 o 15 años se talan y replantan.

De las 352.746 hectáreas que ocupa la RREN, la superficie estudiada (los ENP con eucaliptos en 1998) es de 109.511 hectáreas. Obtenemos como resultado una capa con las parcelas de eucaliptos existentes en 2009, es decir una capa actualizada.

3.5.- Factores de distribución del eucalipto en la RREN

Factores geomorfológicos: altitud, pendiente y orientación

El estudio de los factores geomorfológicos de distribución del eucalipto se basa en el modelo digital del terreno (MDT), de 25 metros de resolución espacial. Este MDT descargado del IGN está en formato *.agr y es necesaria su conversión a GRID para poder trabajar con él en ArcGIS. Para ello se utilizó el software Global Mapper para convertir los archivos de las 110 hojas del MDT escala 1:25.000 que componen Asturias en un archivo formato ASCII y a continuación en ArcGIS convertirlo a formato GRID (*Conversion tools/To raster/ASCII to raster*).

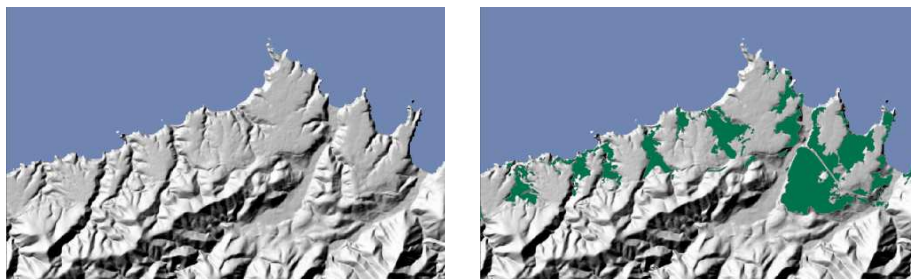
Con el MDT raster en formato GRID vamos a obtener una serie de capas temáticas raster (caja de herramientas *Spatial Analyst*), siempre teniendo en cuenta un margen de error de 25 metros; así obtenemos una capa de sombras (*Surface/ Hillshade*), para poder apreciar mejor el relieve; una capa con las pendientes (*Surface/Slope*), y una capa de orientación de ladera (*Surface/Aspect*).

-Distribución de parcelas de eucaliptos por altitud: cruzando la capa de eucaliptos actualizada con el MDT (*Zonal/zonal statistics as table*) obtenemos una tabla con el rango de altitudes en que se distribuye el eucalipto, esto es desde los 0-25 metros hasta una altitud máxima de 812-837 metros.

-Distribución de parcelas de eucaliptos por pendientes: al igual que con la altitud, cruzando la capa de eucaliptos con la capa de pendientes, obtenemos una tabla con las pendientes sobre las que tiende a distribuirse el eucalipto, desde zonas llanas hasta pendientes de 75°.

En general podemos observar, realizando una capa de relieve exagerado (*Hillshade, z factor=2*), que las zonas de eucalipto por norma general se encuentran en zonas de pendientes y marcado desnivel (*Ilustración 16*):

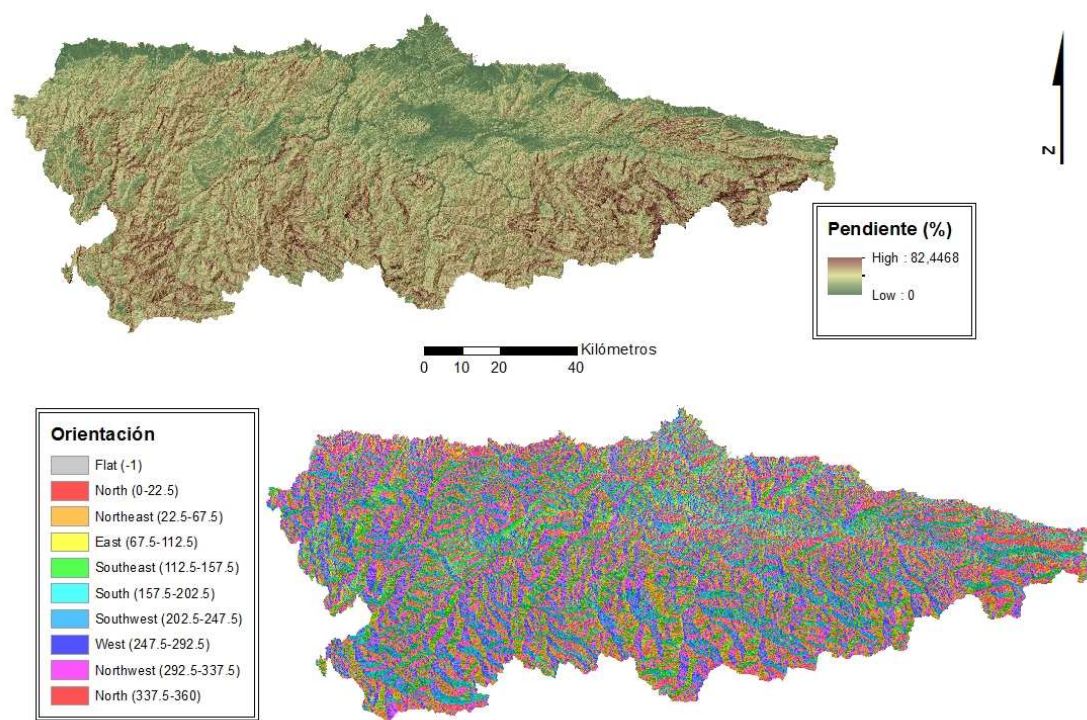
Ilustración 16. Zonas de distribución de las parcelas de eucalipto



Otra forma de obtener las pendientes sólo en las zonas de eucaliptos consiste en rasterizar la capa de eucaliptos (*Feature to raster*) y reclasificarla para obtener todas las parcelas de eucalipto con valor 1 y el resto NoData (*Reclassify*), de manera que al multiplicar las capas (*Raster Calculator*) obtengamos solo la información de las pendientes en las zonas de eucalipto (*Ilustración 28*).

-Distribución de parcelas de eucaliptos por orientación de ladera: en este caso obtenemos una tabla con la frecuencia de presencia de eucalipto por cada orientación (*zonal histogram*) que podemos representar gráficamente para una mejor apreciación (*view/graph/create*) y ver que destacan el norte y noroeste como orientaciones más frecuentes (*Ilustración 30*).

Ilustración 17. Mapa de pendientes y mapa de orientaciones. Asturias.



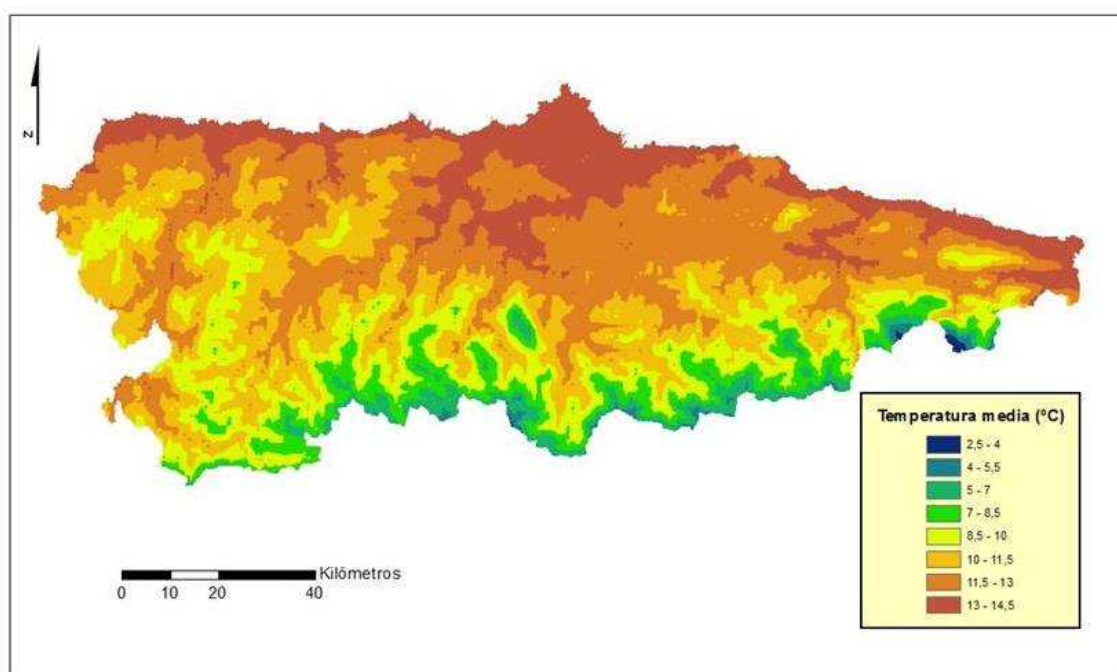
Se ha intentado obtener un factor indicador de la erosión, gracias a una herramienta del ArcGIS que permite calcular el número de celdas que vierten sobre cada celda (*flow accumulation*), sin embargo debido a los 25 metros de resolución de las capas raster se incurre en un error grande, ya que hay parcelas de eucalipto a menos de 25 metros de ríos y rías pero no en su lecho. Con un MDT de mayor resolución sí podría utilizarse para estimar la potencial erosividad de las zonas ocupadas por eucalipto y que gracias a su existencia no hay pérdidas de suelo por escorrentía superficial.

Factores climáticos: temperatura media anual y precipitación anual acumulada

El análisis de los factores climáticos se realizó partiendo de una capa base consistente en una malla climática de 1x1 kilómetro. El primer paso para manipular la información de esta capa fue convertir la malla en puntos para poder hacer interpolaciones (*Data Management tools/Features/feature to point*).

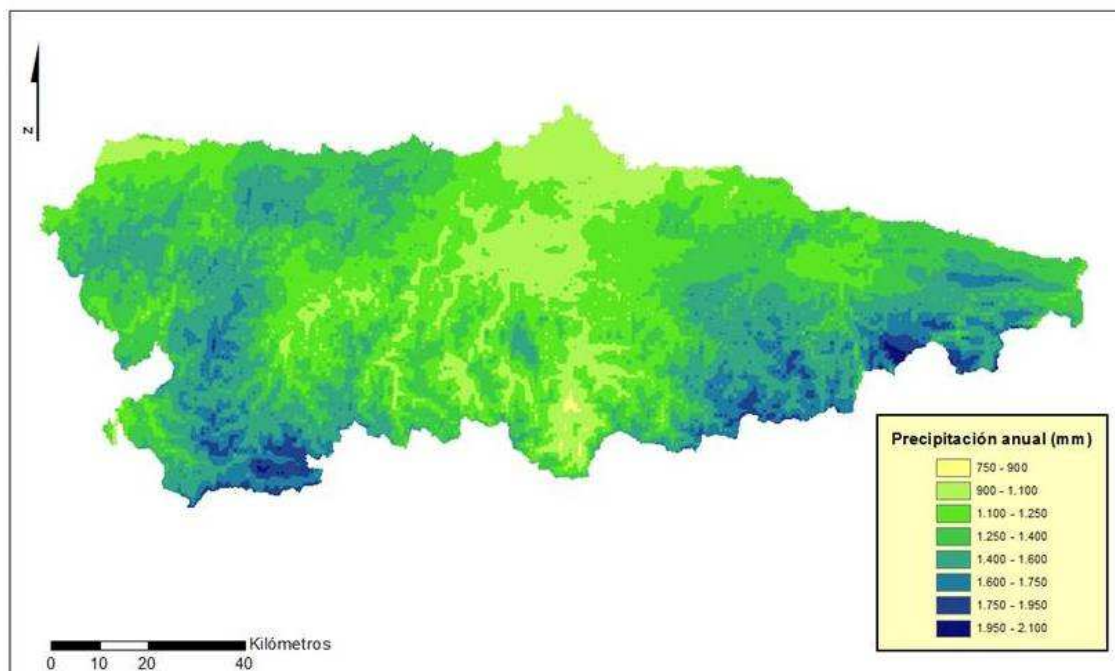
-Distribución de parcelas de eucaliptos según temperatura media anual: a partir de la capa de puntos con la información climática, hacemos una interpolación (*Ilustración 18*) con la temperatura media anual (*Interpolation/IDW*) y la cruzamos con las parcelas de eucaliptos (*zonal statistics as table*) para obtener una tabla de donde se extrae que la temperatura media anual de toda la distribución es 13°C, siendo 11°C la media del territorio astur. Para obtener temperaturas mínimas habría que repetir los pasos con las mínimas del mes más frío y el resultado es que la media de las mínimas no baja de 4°C. Uno de los factores que limitan la expansión de esta especie de eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) es su sensibilidad a las heladas.

Ilustración 18. Temperatura media.



-Distribución de eucaliptos según precipitación anual acumulada: los pasos a seguir son los citados anteriormente, pero interpolaremos los valores de precipitación anual acumulada (*Ilustración 19*), y tras cruzar las capas obtenemos en la tabla un valor medio de 1312 mm (mínimo 942 mm y máximo 1618 mm), es decir, muy similar a los 1324 mm de media que tiene Asturias.

Ilustración 19. Precipitación anual acumulada.



Factores antrópicos: usos del suelo, asentamientos e incendios forestales

- Usos del suelo:

Se ha realizado una distribución de usos del suelo por ENP, en porcentaje de superficie del espacio natural dedicada a cada uso respecto al total, tomando como base los usos del suelo de 2006 (Corine Land Cover 2006). La metodología para obtener estos datos consiste en cruzar la capa de los ENP con la de usos del suelo (*Tabulate area*) de lo que obtenemos una tabla con la superficie ocupada por cada uso y a continuación se realiza la edición de la tabla con los cálculos oportunos ($[\text{superficie usoX} / \text{superficie total ENP}] * 100$).

En el apartado de resultados (punto 4) se recoge la tabla de distribución de usos del suelo en los espacios naturales con presencia de eucalipto ([Tabla 6](#)).

Para ver la correspondencia entre los usos del suelo según el CLC06 y las parcelas actualizadas de eucalipto seguimos los pasos anteriores cruzando ambas capas. En lugar de encontrar que las parcelas de eucalipto se corresponden con el uso “bosque de frondosas”, el resultado es una mezcla de usos que en algunos casos se debe a errores de precisión y en otros casos a errores de bulto ([Tabla 5](#)).

- Asentamientos :

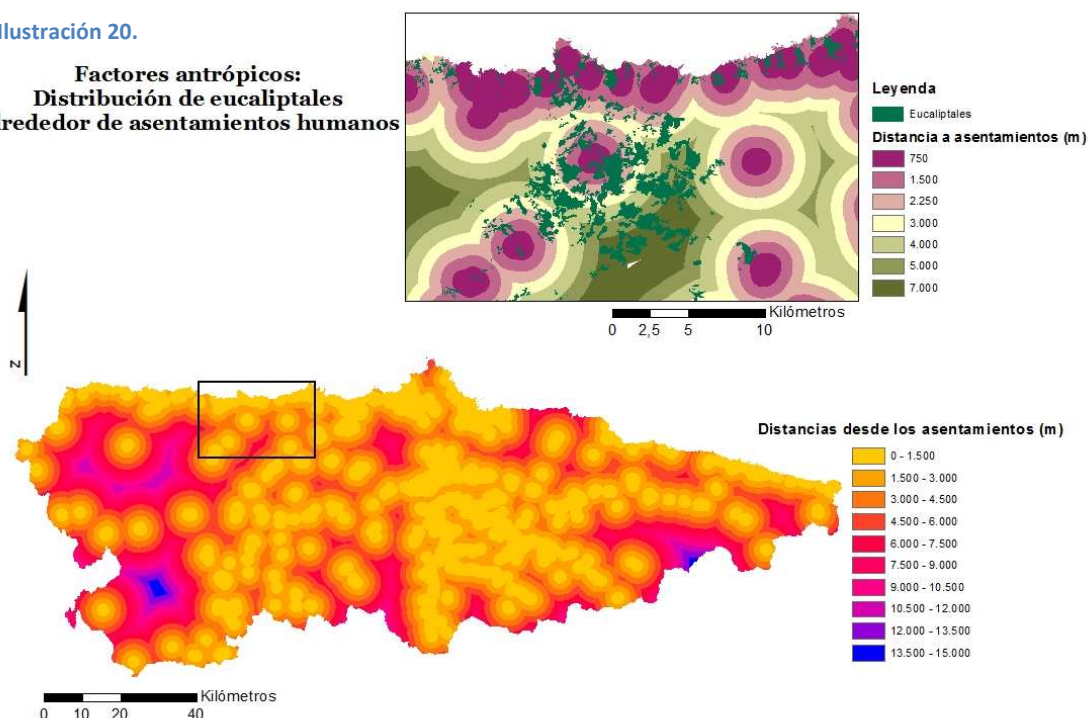
Estudiamos ahora la distribución de las plantaciones respecto a los asentamientos humanos analizando la distancia entre las parcelas de eucaliptos y dichos asentamientos. La capa de base son los usos del suelo, de manera que contamos con ciertos errores (no se contemplan en la capa temática todos los asentamientos existentes) y los resultados no serán precisos pero al menos obtendremos una idea general de si existe relación o no. Para poder obtener

resultados concluyentes habría que corregir la capa de usos del suelo, sin embargo no es el objetivo del presente proyecto.

Necesitamos una capa que sólo contenga los usos urbanizados, así que englobamos “zonas urbanas”, “estructuras urbanas laxas”, “zonas verdes y urbanizaciones”, “tejido urbano discontinuo”, etc., todos los usos que impliquen asentamientos (selección por atributos y exportar datos). A partir de esta capa obtenemos una capa con las distancias desde las celdas cercanas hasta los asentamientos (*Distance/Euclidean distance*) y la clasificamos para obtener una zonificación hasta 7 km de distancia máxima (*Reclass/Reclassify*).

Ilustración 20.

**Factores antrópicos:
Distribución de eucaliptales
alrededor de asentamientos humanos**

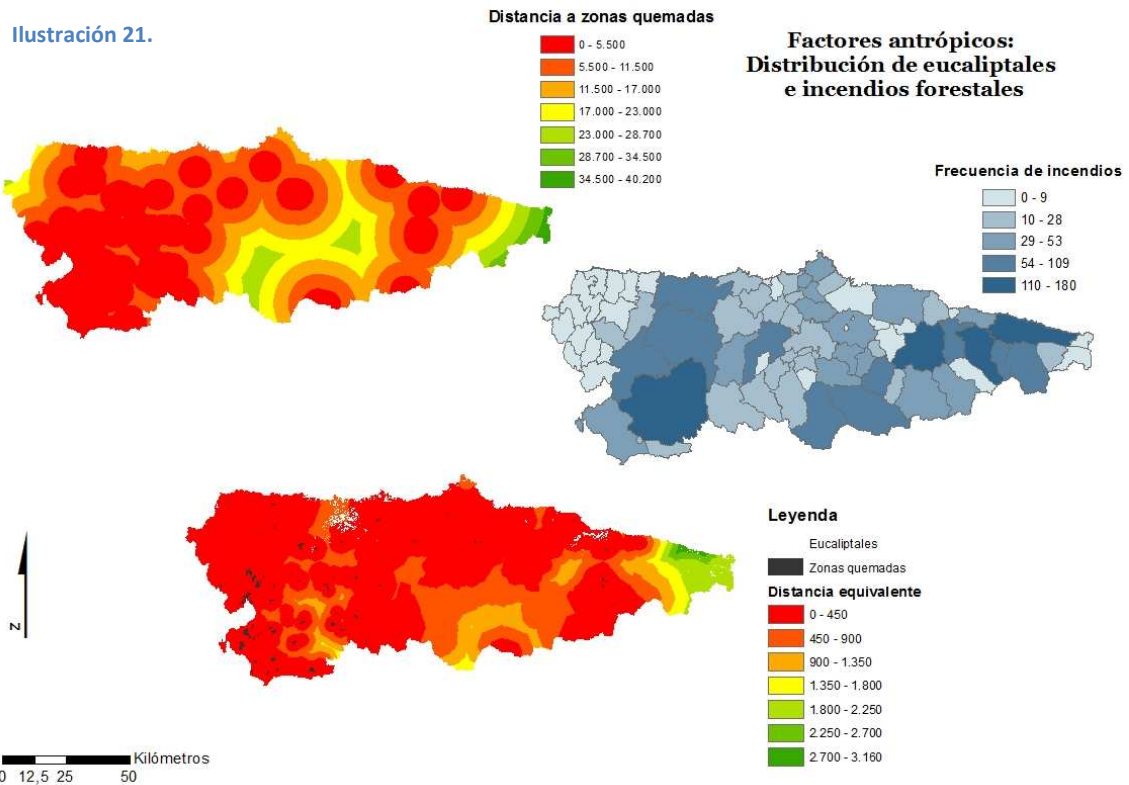


Observamos en el mapa (ilustración 20) que la distancia máxima a la que encontramos parcelas de eucaliptos dentro de los ENP son 7 kilómetros. Comprobamos con las ortofotografías que en esa franja donde según el CLC06 no hay uso urbanizado, existen en realidad numerosas asentamientos, en forma de pequeñas aldeas a menos de 5 kilómetros de las plantaciones. Con estos datos comprobamos la tendencia a no ejecutar plantaciones a distancias mayores de 5 kilómetros.

- Incendios forestales:

Para estudiar la relación entre las plantaciones de eucalipto y los incendios forestales (ya que esta especie es pirófito), analizamos la localización de zonas quemadas (uso de la capa de usos del suelo) en relación con la distribución de las parcelas (*Distance/Euclidean distance*). Hay que tener en cuenta que vamos a tener el mismo error de inexactitud debido al uso de la capa del Corine. Para añadirle peso a esta relación obtenemos la estadística de incendios forestales por

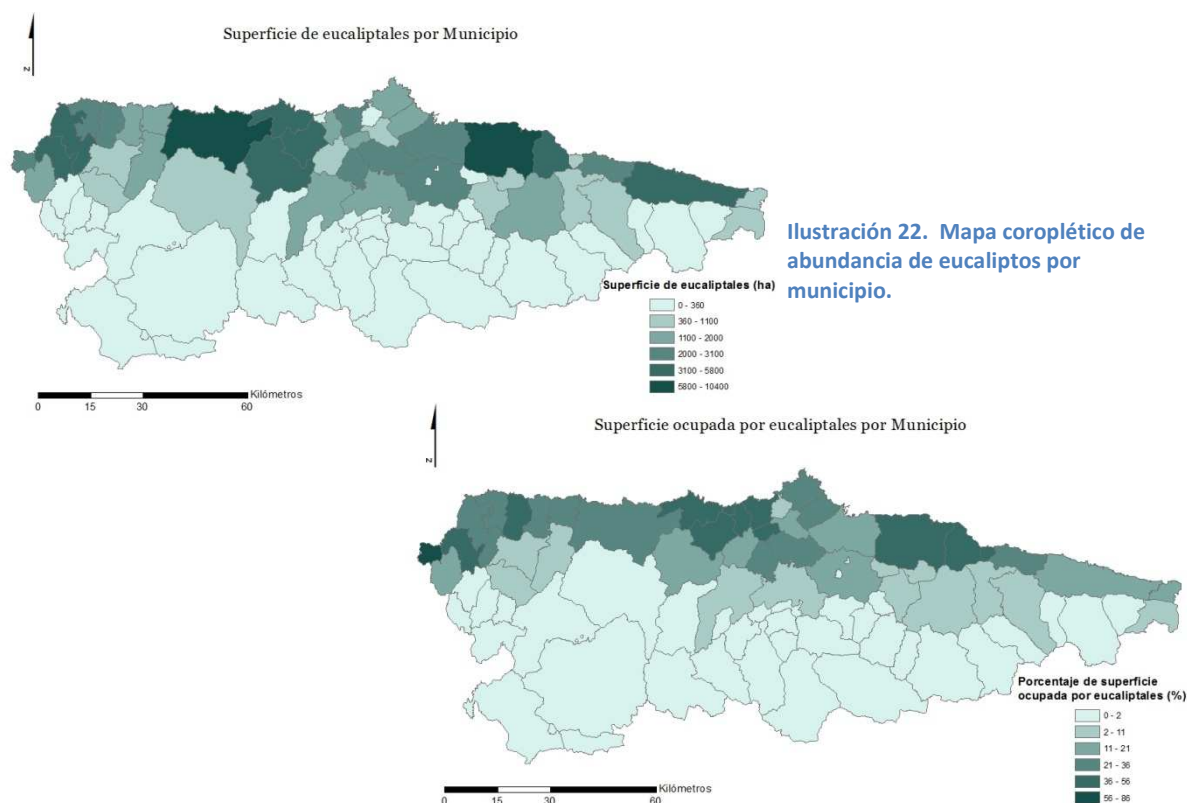
concejo (www.bomberosdeasturias.es) entre el año 2000 y el 2011 (enero). Añadimos el número de incendios a la tabla de la capa de municipios (*Edit*), y la convertimos en formato raster (*Feature to raster*). Calculamos las distancias a las zonas quemadas añadiendo la capa raster de frecuencia de incendios como superficie de fricción (*Cost Distance*), la capa resultante son las distancias equivalentes a las zonas quemadas (*Ilustración 21*).



El resultado es que la mayoría de las parcelas de eucalipto se encuentran en zonas de mayor riesgo de incendio relativamente alto, o al menos en zonas que históricamente han sufrido más incendios forestales.

3.6.- Distribución espacial de las plantaciones de eucaliptos en Asturias

Un primer vistazo a la cantidad de superficie de eucaliptales por cada municipio nos da idea de la no aleatoriedad con que se distribuyen por el territorio asturiano.

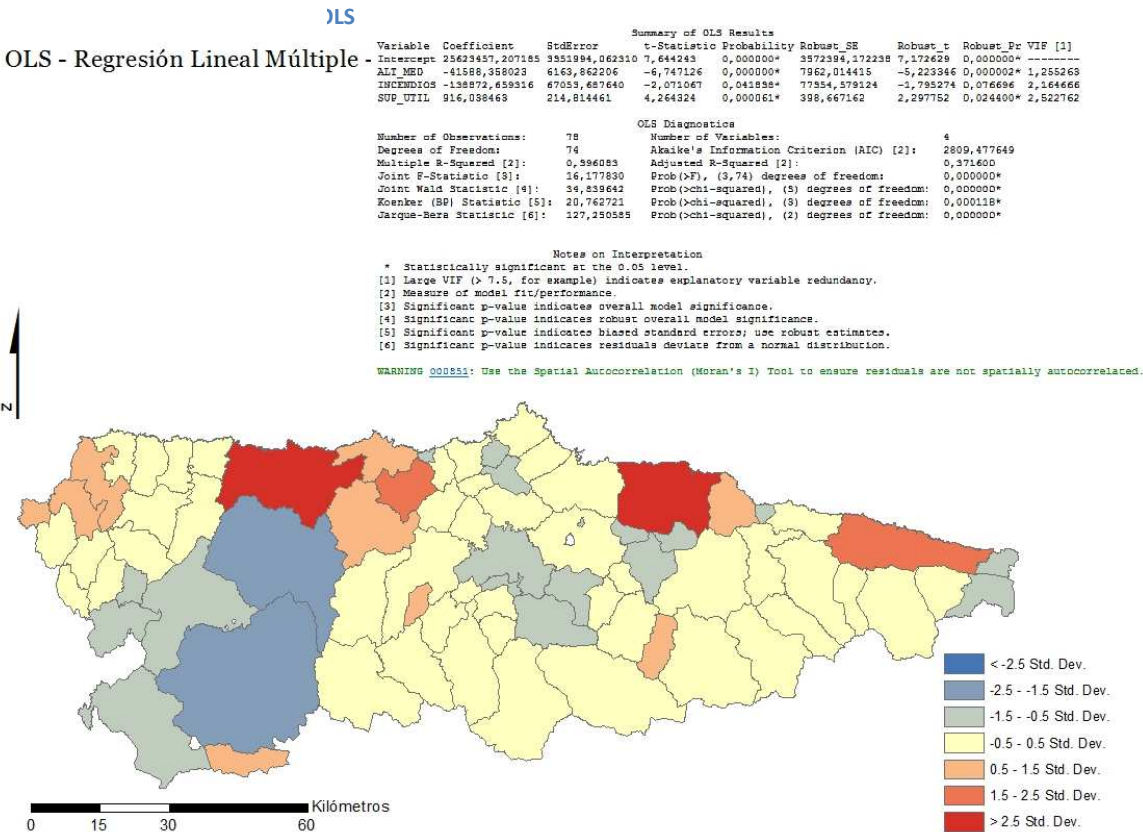
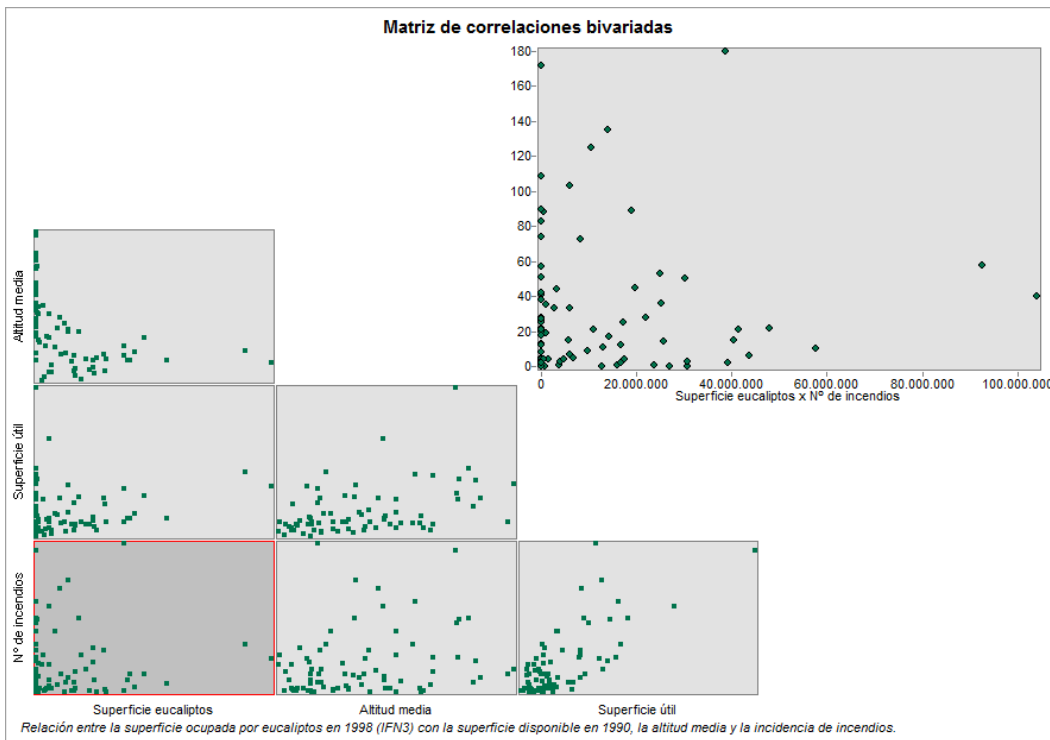


Para analizar la distribución espacial de las plantaciones planteamos la hipótesis de que dicha distribución está explicada por dos variables: superficie disponible y altitud media. Como indicador de superficie disponible contamos con información de los usos del suelo de 1984 y 1990, tomando como usos con posibilidades de transformarse en cultivos de eucalipto tanto zonas de matorral como prados y pastizales. Suponemos que la dedicación de suelo a plantaciones de eucalipto tendrá relación negativa con la altura (a menor altura mayor superficie de eucaliptales) y relación positiva con la superficie útil; además añadiremos como variable explicativa la probabilidad de incendios suponiendo que, al ser el eucalipto una especie pirófito, podría haber una relación positiva. Para estudiar la relación entre variables obtenemos primero una matriz de correlaciones bivariadas (*Graph/ Create Scatter plot matrix*) para lo que es necesario incorporar en una sola tabla todas las variables (edición de tablas).

En la matriz (*Ilustración 23*) observamos que existen muchos puntos en el 0, lo que indica que hay municipios que no tienen eucaliptos o muy poca superficie con dedicada a su cultivo, y si observamos el resto de puntos, podemos ver que no hay una relación clara y que el ajuste no

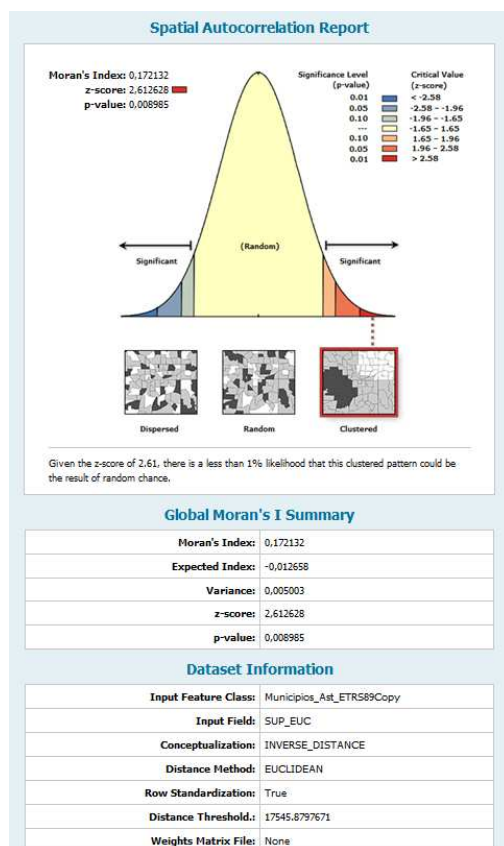
va a ser bueno, pero aún así realizamos un análisis de Regresión Lineal Múltiple OLS (*Spatial Statistics Tools/Modeling Spatial Relationships/Ordinary Least Squares*).

Ilustración 23.



Los resultados de la OLS ([Ilustración 24](#)) indican cierta tendencia a la agrupación espacial como ya veíamos en el mapa coroplético anterior, por lo que se sugiere la realización de un índice de Moran para comprobarlo. El resultado presenta un ajuste muy bajo del modelo ($R^2 = 0,37$) con significación estadística $p < 0,001$; la relación con la variable “altitud media” es la que muestra mayor significación ($p < 0,0001$), después la variable “superficie útil” con $p < 0,001$ y la relación que menor significación presenta ($p > 0,01$) es la variable “nº de incendios”. Además comprobamos que la relación entre la variable independiente y la “altitud media” es negativa y con la variable “superficie útil” es positiva como suponíamos, mientras que la relación con la variable “incendios” (número de incendios) es negativa (como vemos en la columna *Coefficient* de la tabla de resultados).

Ilustración 25. Resultados del Índice de Moran



Realizamos el análisis del índice de Moran (*Spatial Autocorrelation Moran's I*) obteniendo un valor de 2,61 con significación estadística $p < 0,01$ ([Ilustración 25](#)), lo que indica agrupamiento y por tanto necesidad de estudiar la Regresión Geográficamente Ponderada GWR.

Realizamos la GWR (*Spatial Statistics Tools/Modeling Spatial Relationships/Geographically Weighted Regression*) y como resultado obtenemos una R^2 de 0,82 y una R^2 ajustada de 0,72, mucho mejor resultado que con la OLS, dato que también queda confirmado si comparamos el AICc obtenido en el análisis GWR con el obtenido con OLS (cuando difieren en más de 3 puntos, el AICc menor indica mejor ajuste $AICc_{GWR} 2783 < AICc_{OLS} 2809$). Estos resultados indican un ajuste del modelo GWR bastante bueno, las variables independientes explican aproximadamente el 70% de la distribución espacial de la variable dependiente.

4.- RESULTADOS

4.1.- Análisis de la evolución del eucalipto

La actualización de la localización de las parcelas de eucaliptos en los Espacios Naturales Protegidos ha llevado a un interesante resultado, ya que la superficie ha aumentado en 1.544 hectáreas. En algunos espacios protegidos ha disminuido la ocupación del eucalipto, como en la Reserva de Barayo y en el Paisaje Protegido Sierras de Carondio y Valledor o como en el Parque Natural de Redes que ha desaparecido por completo; mientras que en el resto ha aumentado en mayor o menor medida.

Tabla 4. Superficie de eucaliptos en los ENP de Asturias.

Superficie de eucaliptos (hectáreas)		
1998	Espacio Natural Protegido	2009
104,29	R.N.P. Barayo	86,22
117,34	P.P. Cabo Peñas	156,58
1290,99	P.P. Costa Occidental	1444,64
502,68	P.P. Costa Oriental	496,92
3319,01	P.P. Cuenca del Esva	4564,66
38,12	R.N.P. Cueva del Lloviu	54,45
4,76	R.N.P. Cueva del Sidrón	5,32
7,08	R.N.P. Cueva Rosa	9,89
1,25	M.N. Cuevas de Andina	2,86
0,94	M.N. Hoces del Esva	2,36
2,28	M.N. La Charca de Zeluán y Ensenada de Lloredo	3,51
1,06	M.N. La Turbera de las Dueñas	1,92
0,23	M.N. Los Yacimientos de Icnitas de Asturias	0,34
2,30	M.N. Playa de Frexulfe	0,71
1,72	P.N. Redes	0,00
31,10	R.N.P. Ría de Villaviciosa	35,59
78,57	R.N.P. Ría del Eo	106,76
421,90	P.P. Sierra del Cuera	392,80
1386,49	P.P. Sierra del Sueve	1513,28
29,15	P.P. Sierras de Carondio y Valledor	6,21
1,63	M.N. Tejo de Salas	2,32
7342,89		8887,34

Las explicaciones que podemos dar a esta diferencia de superficie en 10 años pasan por errores debido a la falta de técnicas adecuadas en 1998 y a falta de tiempo del presente trabajo para una mayor precisión en el estudio de toda la superficie.

Esta actualización se ha realizado modificando las parcelas delimitadas en 1998, y tan sólo se han añadido las parcelas nuevas ubicadas cerca de las antiguas. Un examen exhaustivo de todo el territorio sería necesario para asegurarse de que no existen nuevos terrenos que no estaban contemplados con anterioridad. Además algunas de las parcelas incluidas como eucaliptos eran otra especie de frondosas pero con la misma forma planimétrica, es decir que podría tratarse de un error, o bien se sustituyó el eucalipto por otra especie.

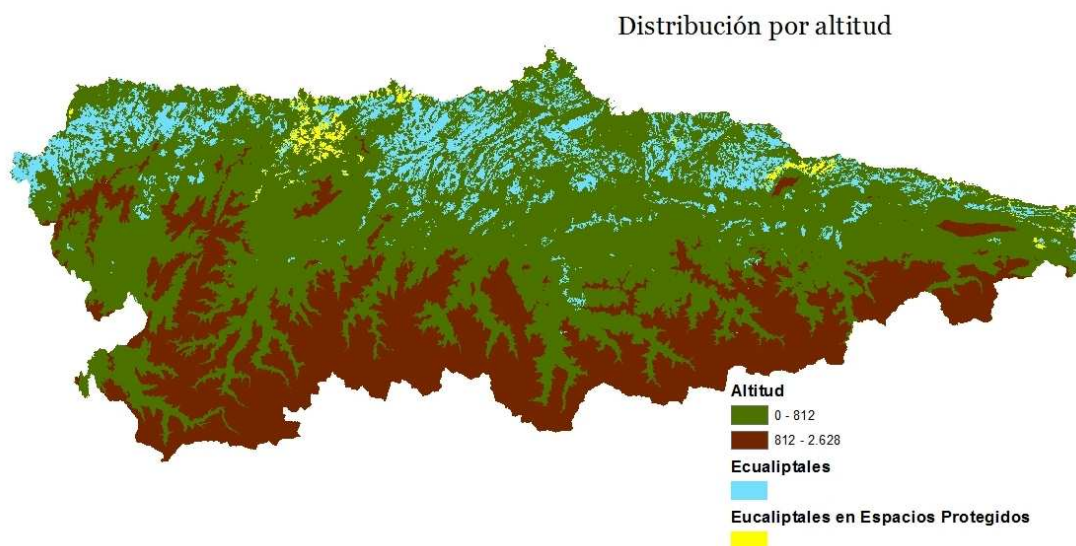
Sin embargo, asumiendo los posibles errores, la diferencia es tan grande como para asumir que durante los últimos 10 años la superficie de eucalipto ha aumentado, probablemente debido a la rentabilidad que supone su cultivo, y a la falta de cumplimiento de la normativa.

Sería interesante dedicar más tiempo al análisis más detallado del territorio y sobre todo al control de estas plantaciones a partir del año 2009 cuando teóricamente se prohibió el aumento de su superficie.

Factores de distribución

El eucalipto se extiende desde altitudes entre 0 y 25 metros hasta altitudes máximas alrededor de los 825 ± 12 metros como vemos en el siguiente mapa (ilustración 26).

Ilustración 26.



La mayoría de las zonas elegidas para el cultivo del eucalipto suelen tener alrededor 18° de pendiente como vemos en el siguiente histograma (ilustración 27), aunque en algunas zonas alcancen 75° .

Ilustración 27. Histograma pendientes en zonas de cultivo de eucalipto

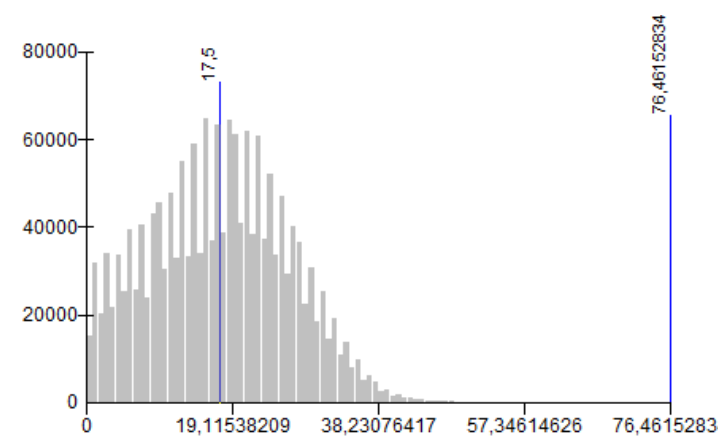
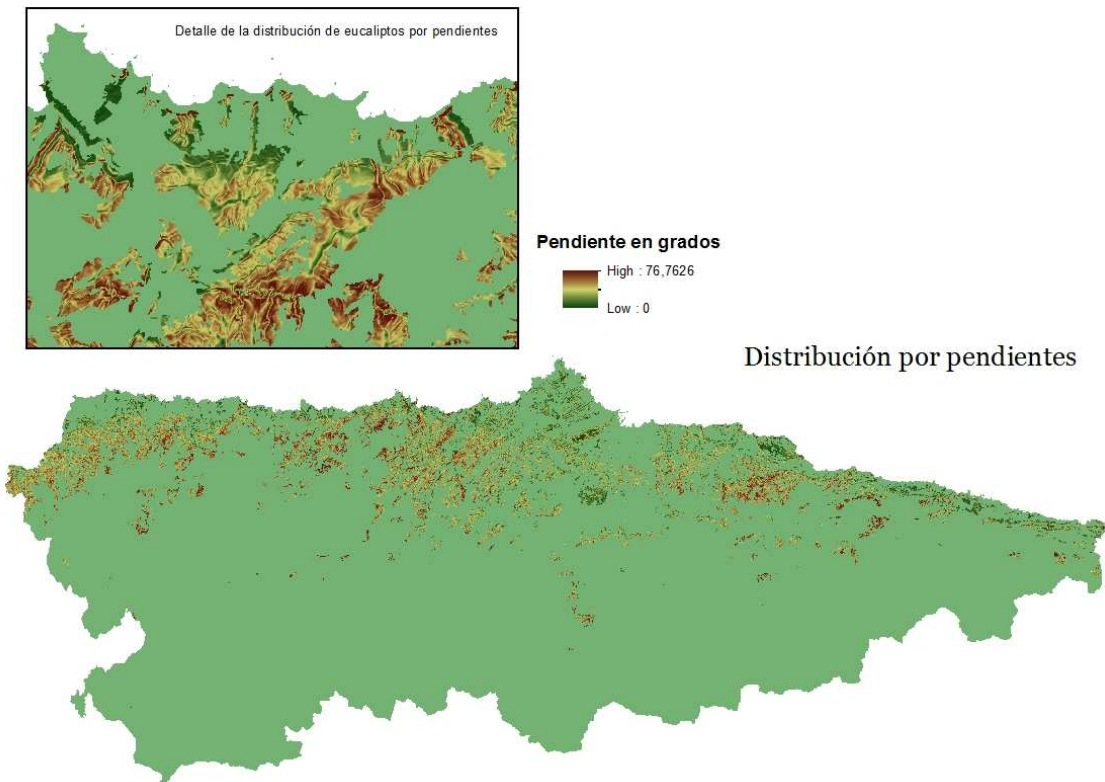
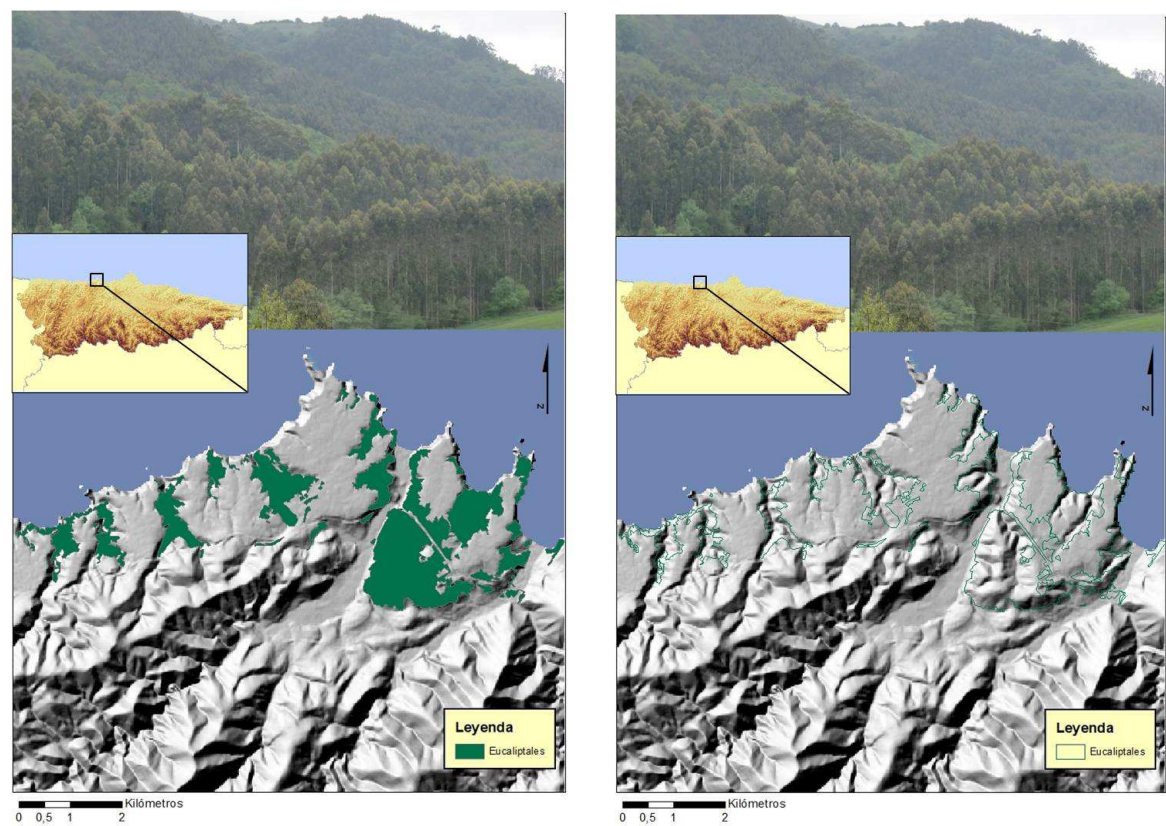


Ilustración 28. Distribución por pendientes de los cultivos de eucalipto en Asturias.



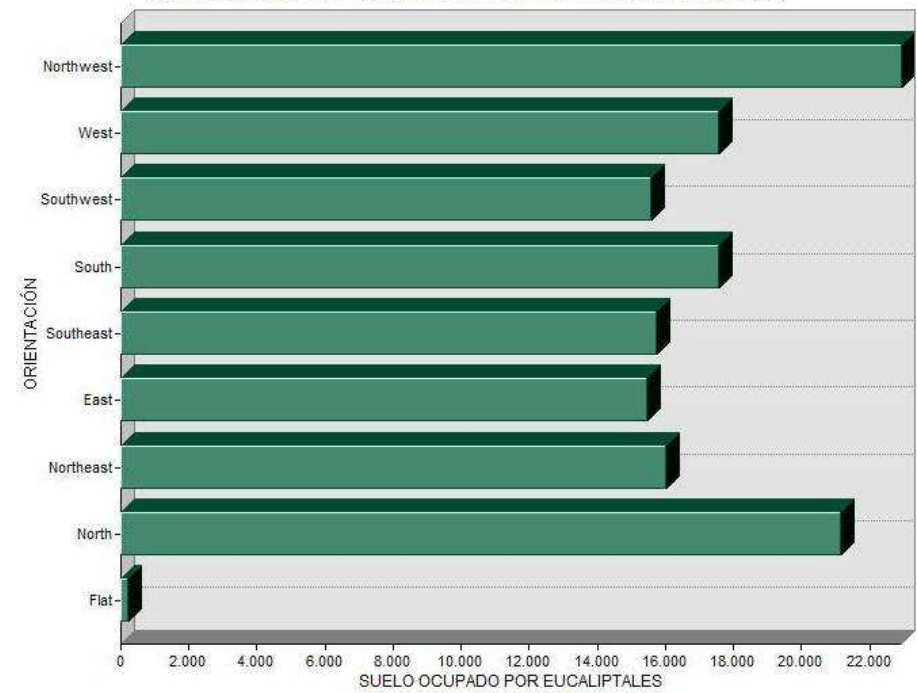
Preferentemente entre 8 y 25º de pendiente, hasta los 40º y a partir de éstos, hasta 75º en algunas ocasiones.

Ilustración 29. Cultivos de eucalipto en laderas



Las orientaciones de distribución más frecuentes son norte-noroeste como vemos a continuación (ilustración 30).

Ilustración 30. DISTRIBUCIÓN DEL EUCALIPTO POR ORIENTACIÓN DE LADERA



La distribución en altura determina las temperaturas de distribución del eucalipto, hemos visto que la temperatura media dentro de los ENP es 13°C, y vemos (ilustración 31) que respecto a la distribución de los eucaliptos en Asturias es muy similar con un rango entre 10 y 14°C.

Ilustración 31. Histograma temperatura media en zonas de cultivo de eucalipto

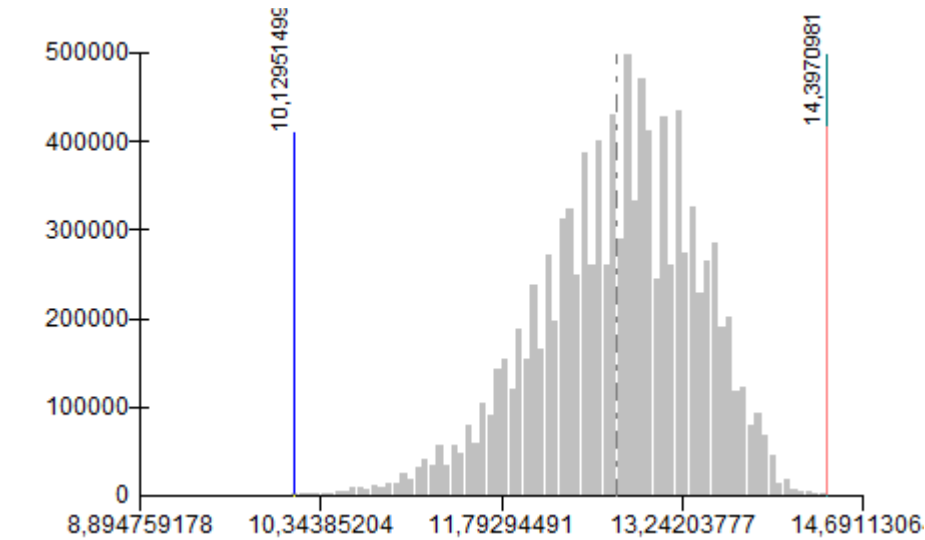
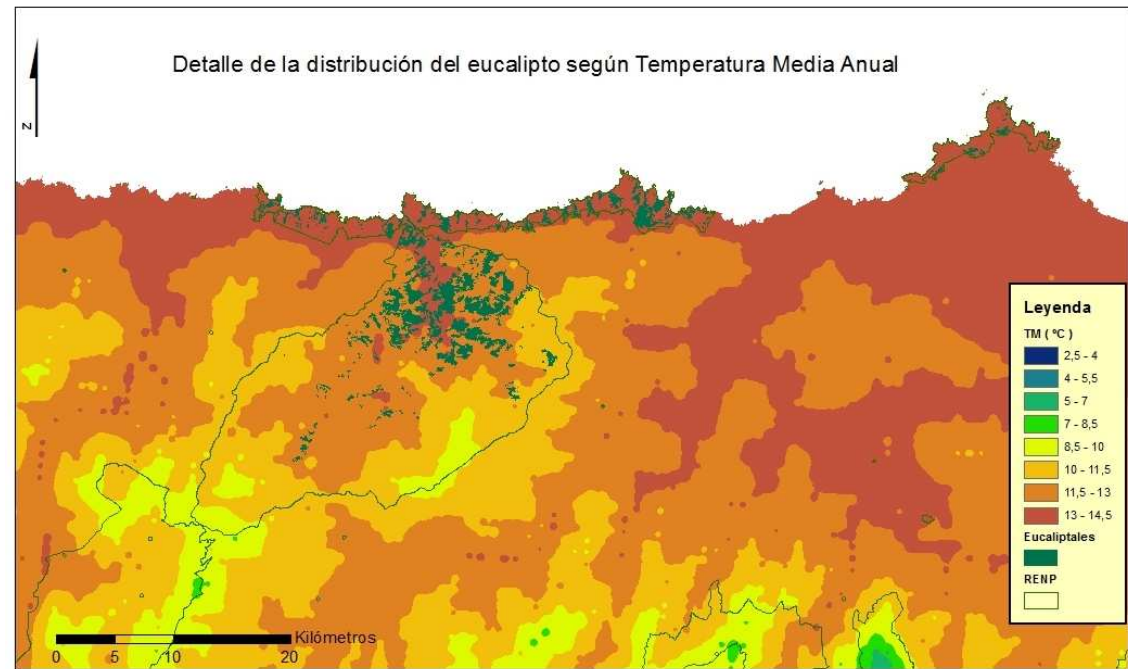
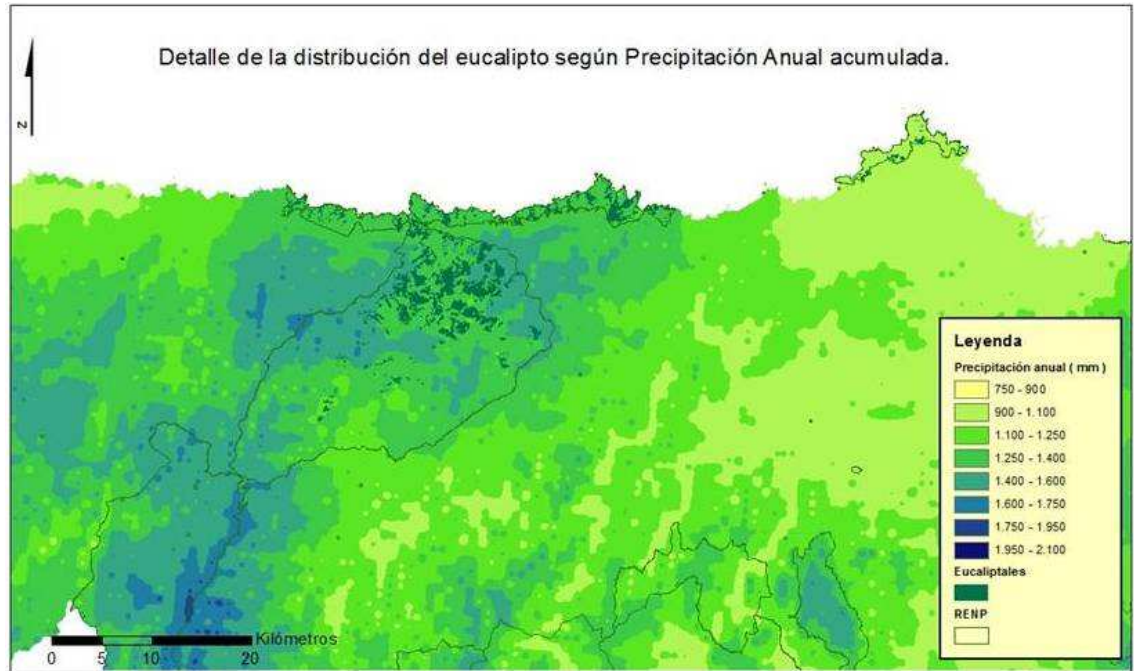


Ilustración 32.



En cuanto a la precipitación anual, los datos obtenidos sobre su relación con la distribución de eucaliptos no difieren mucho de los correspondientes al resto del territorio asturiano, alrededor de 1300 mm.

Ilustración 33.



En relación con los usos del suelo, por un lado obtenemos una tabla con la proporción de usos diferentes dentro de los ENP con presencia de eucaliptos (Tabla 6), para estudiar después la relación de usos correspondientes a las parcelas que en 2009 son de eucalipto.

Tabla 5. Relación de usos del suelo en zonas de cultivo de eucalipto

Uso	% ocupación de cada uso
Zonas urbanizadas	0,08
Cultivos de regadío	0,02
Cultivos de secano	5,35
Pastos	3,61
Agrícolas con vegetación natural	2,04
Bosque de frondosas	41,36
Bosque de coníferas	24,10
Bosque mixto	4,80
Praderas y pastizales	0,02
Matorral	18,32
Playas y dunas	0,14
Roquedos	0,00
Marismas y estuarios	0,16
Aguas marinas	0,00

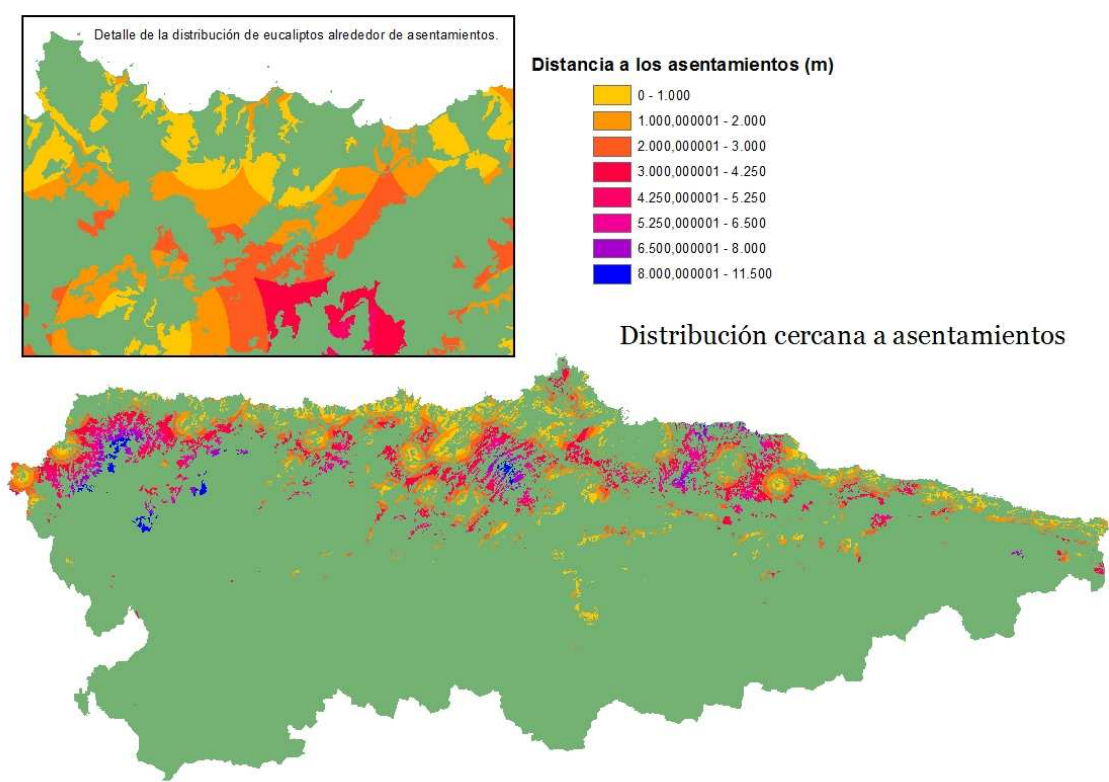
Como comentábamos con anterioridad debe tratarse de errores de la capa de usos del suelo de 2006 ya que debería corresponder un 90-100% de uso como bosque de frondosas.

Tabla 6. Distribución de usos del suelo en los Espacios Naturales Protegidos con presencia de eucalipto.

	Suelo urbanizado	Cultivos regadío	Extracción minera	Pastos	Mosaico de cultivos de secano	Agrícolas con vegetación natural	Bosque de frondosas	Bosque de coníferas	Bosque mixto	Praderas y pastizales	Matorral	Vegetación esclerófila	Playas dunas y arenales	Roquedos y espacios con escasa vegetación	Zonas quemadas	Turberas	Marismas y Estuarios	Lagos y lagunas naturales interiores	Aguas marinas
R.NAT.P. Barayo					66,75			32,95			0,27								0,03
R.NAT.P. Cueva del Lloviu			19,93			46,38						33,69							
R.NAT.P. Cueva del Sidrón	24,86				34,07		18,37				22,69								
R.NAT.P. Cueva Rosa	14,93				56,80				0,25			28,02							
R.NAT.P. Ría de Villaviciosa	23,72		33,53		2,02							3,74			29,83		6,34	0,82	
R.NAT.P. Ría del Eo	2,33		38,62			10,61									17,21		31,24		
P:PROT. Cabo Peñas	0,06			82,52		0,00	7,61				7,26		1,85				0,05		0,65
P:PROT. Costa Occidental	2,28			3,27	63,06	3,02	4,78	19,76	1,56		2,13								0,13
P:PROT. Cuenca del Esva				15,87	3,54	4,94	28,72	10,00	2,16	0,21	33,10			1,30	0,14				
P:PROT. Sierra del Sueve	0,44	0,36		12,32	2,88	3,50	34,43	1,59		11,58	29,88			3,02					
P:PROT. Costa Oriental	6,41			35,16	15,48	16,94	16,36				4,68						0,41		4,55
P:PROT. Sierras de Carondio y Valledor	0,10			4,09	0,27	5,37	17,10	5,99		1,48	61,85			3,17				0,60	
P:PROT. Sierra del Cuera		0,04		6,65	1,08	5,60	11,69	0,25		4,10	61,81			8,31		0,46			
M.NAT. Cuevas de Andina					21,46		78,54												
M.NAT. Tejo de Salas							50,66												
M.NAT. La Turbera de las Dueñas	17,44																		
M.NAT. Los Yacimientos de icnitas	0,26				2,67	0,47	7,97				1,72						0,22		83,20
M.NAT. La Charca de Zeluán y Ensenada de Lloredo	33,93			0,05			49,43												
M.NAT. Playa de Frexulfe					9,48	87,24													3,28
M.NAT. Hoces del Esva											100,00								

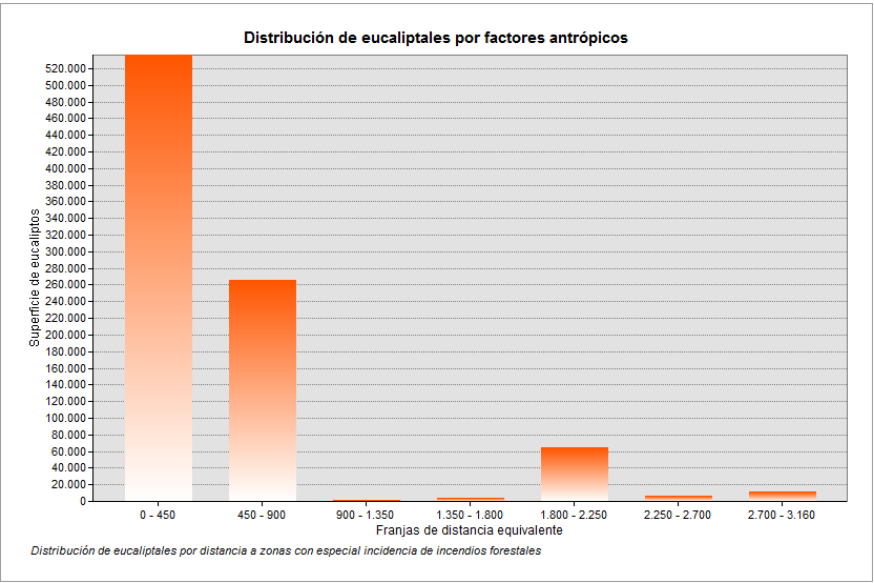
La distribución de las plantaciones ubicadas en Espacios Protegidos respecto a la localización de asentamientos urbanos, veíamos antes que se da dentro de un radio de aproximadamente 5 kilómetros; si extendemos el estudio a todas las plantaciones del Principado de Asturias vemos que el radio es ligeramente superior pero siempre inferior a 12 kilómetros.

Ilustración 34. Distribución de parcelas de eucalipto respecto a asentamientos

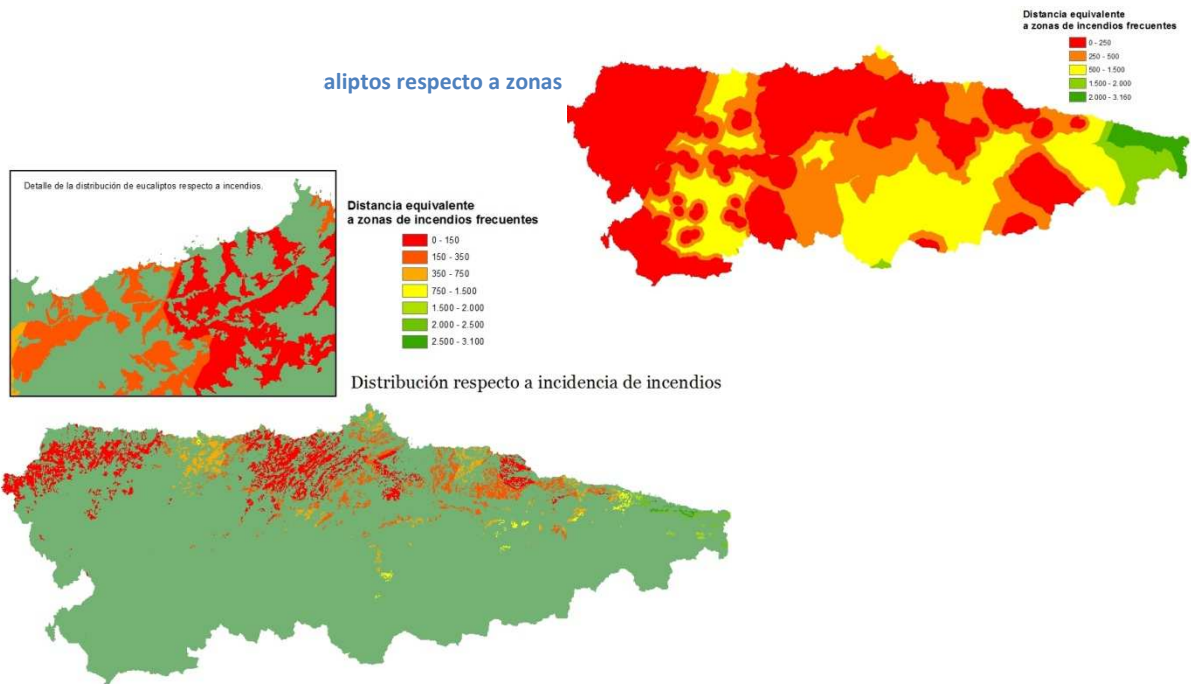


Dentro de los ENP la mayoría de las plantaciones se encuentran relativamente cerca de zonas con frecuente incidencia de incendios.

Ilustración 35.



Si observamos lo que ocurre con las plantaciones de eucaliptos de todo el territorio, la conclusión es la misma, sin embargo hay que tener en cuenta que según el cálculo de distancias equivalentes realizado la mayor parte de la superficie Asturias se consideraría en riesgo alto de incendio. Habría que realizar un estudio similar con otras especies para comprobar si el eucalipto tiene realmente alguna influencia en la propagación de incendios forestales o se trata de una víctima forestal más.



4.2.- Análisis de distribución espacial del eucalipto en Asturias

El estudio de distribución espacial de los eucaliptos, confirma la hipótesis de que la altura, la superficie disponible y los incendios explican entre un 70 y un 80 % su distribución por municipios. Aunque probablemente las variables que hacen más válido el modelo sean la altura, debido a la fiabilidad de los datos, y la disponibilidad de suelo en desuso o con un uso fácilmente transformable donde realizar los cultivos.

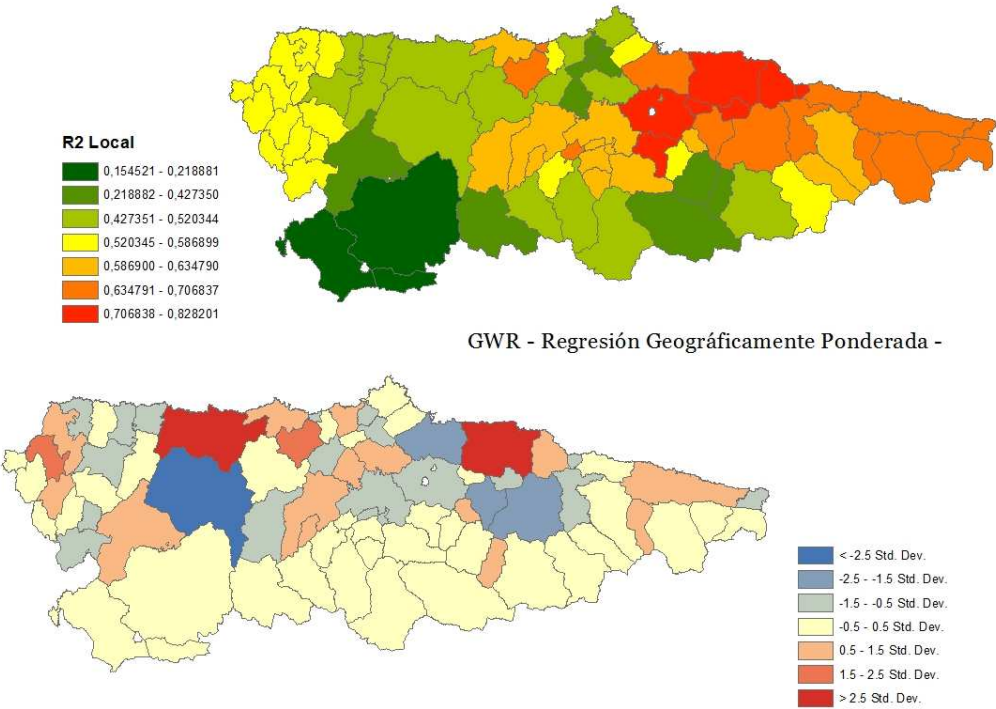
Tabla 7. Resultados del análisis GWR

EffectiveNumber	: 30,637
Sigma	: 10446037,041
AICc	: 2783,560
R2	: 0,827
R2Adjusted	: 0,719

Representamos gráficamente los resultados del modelo de Regresión Geográficamente Ponderada, mediante un mapa coroplético de los residuales de la regresión una vez

comprobado que su distribución es aleatoria (según el índice de Moran realizado aunque con poca significación estadística), para observar de manera general donde se están sobreestimando (colores rojos) y subestimando (colores azules) los resultados del modelo. Si representamos también la R2 local, podemos ver localmente en qué municipios se ajusta mejor el modelo (R2 mayor, colores rojos).

Ilustración 37. Representación gráfica de resultados de GWR



5.- CONCLUSIONES

El empleo de técnicas de teledetección y SIG para la planificación, la gestión y el seguimiento de actuaciones en Espacios Naturales Protegidos es interesante y con el tiempo será imprescindible. Hace posible el almacenaje y tratamiento de una gran cantidad de información de diferente naturaleza, geográficamente referenciada y la disponibilidad de información digital variada y de calidad es cada vez mayor.

El control de las plantaciones de eucalipto llevado a cabo sirve como primer acercamiento a un estudio que debería realizarse para asegurar el cumplimiento de la normativa.

El estudio de los factores que afectan a la distribución podría profundizarse introduciendo más factores e incluso investigando los impactos ambientales que se achacan a la especie *Eucalyptus globulus*. Las técnicas SIG nos han permitido obtener información sobre la distribución de esta especie, hemos visto que se da en altitudes menores de 850 metros, generalmente en laderas con cierta pendiente (17º), en torno a los 13ºC de temperatura media y 1.250 mm de precipitación anual acumulada, a menos de 12 kilómetros de asentamientos humanos y en zonas con cierto riesgo de incendio. Además hemos comprobado que la altitud y la disponibilidad de suelo explican un 70-80% la distribución espacial de los eucaliptos en Asturias.

El empleo de teledetección está limitado por la disponibilidad de imágenes de alta resolución; para este estudio ha servido de apoyo a la hora de diferenciar las masas de eucalipto de otras frondosas, aunque con imágenes de alta resolución, no se habría requerido el empleo de las ortofotografías que tan imprescindibles han sido por su calidad y detalle.

Como reflexión sobre la falta de precisión de algunos resultados obtenidos, cabría decir que los errores debidos a la falta de precisión del CLC, y del IFN3 probablemente se deban a la falta de disponibilidad de las tecnologías actuales; de manera que en el futuro tendremos información más precisa sobre la que basar nuevas investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

J.M. DÍAZ, et al. (2007): *“Dos perspectivas sobre la cartografía de coberturas y usos del suelo en Galicia”*. Xunta de Galicia, Revista Galega de Economía, vol. 16, núm. 1.

M.P.MARTÍN ISABLE, E.CHUVIECO SALINERO et al. (2007): *“Un ejemplar práctico de aplicación operativa de la teledetección a la gestión de riesgos naturales: cartografía y evaluación urgente de áreas quemadas en Galicia”*. Universidad de La Rioja. Cuadernos de Investigación Científica, Nº 33, p.19-37.

P.C. MAYORAL, J.A. MARTÍN, P.LÓPEZ, A.VERDUGO (2004): *“Sistemas de información geográfica y espacios naturales protegidos. Los Parques Regionales de la Comunidad de Madrid”*. Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales, Revista Foresta, nº 28.

“Asturias alcanzará las 13.700 hectáreas forestales certificadas a finales de 2010”. (27 Abril 2010) Actualidad, Sede Electrónica, Asturias.es.

“La gestión forestal sostenible y el eucalipto”. Grupo Empresarial ENCE.

“Una visión común sobre el problema de las plantaciones de eucalipto”. (16 Marzo 2011). Manifiesto ecologista.

Club de Prensa de La Nueva España de Oviedo (2 Noviembre 2010): Debate Sector Forestal.

J. MANUEL LAGO (20 Mayo 2007): *“El eucalipto en Asturias”*. Web AsturiasVerde.com

J. CASANOVA (30 Enero 2009): *“Chequeo a una especie polémica. Asturias pretende frenar la expansión del eucalipto”*. Periódico digital La Voz de Galicia.

L. M. ARCE (24 Marzo 2010): *“Eucalipto, el monte productor”*. Periódico digital La Nueva España.

M.J. IGLESIAS (13 Mayo 2010): *“El eucalipto ya supera en 12.000 hectáreas la previsión del Plan Forestal para 60 años”*. Periódico digital La Nueva España.

“Gestión de los recursos naturales en el Principado de Asturias: nuevas perspectivas”. Consejería de Medio ambiente, Ordenación del territorio e Infraestructuras.

“El plan forestal de Asturias y los planes forestales”. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural. Gobierno del Principado de Asturias.

Plan Forestal de Asturias. (2001)

Planes Forestales Comarcales (Septiembre 2010). Plan Forestal de la Comarca de Cangas de Narcea, Plan Forestal de la Comarca de Cangas de Onís, Plan Forestal de la Comarca de Grado, Plan Forestal de la Comarca de Luarca, Plan Forestal de la Comarca de Pola de Allande, Plan Forestal de la Comarca de Pola de Laviana, Plan Forestal de la Comarca de Pola de Siero, Plan Forestal de la Comarca de Pravia, Plan Forestal de la Comarca de Ribadesella y Plan Forestal de la Comarca de Vegadeo.

Decreto 38/1994, de 19 de mayo, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Principado de Asturias.

Decreto 152/2002, de 28 de noviembre, por el que se aprueba el II Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva Natural Parcial de Barayo.

Decreto 133/2002, de 10 de octubre, por el que se aprueba el I Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva Natural Parcial de la Cueva del Lloviu.

Decreto 132/2002, de 10 de octubre, por el que se aprueba el I Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva Natural Parcial de la Cueva del Sidrón.

Decreto 130/2002, de 10 de octubre, por el que se aprueba el I Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva Natural Parcial de Cueva Rosa.

Decreto 153/2002, de 28 de noviembre, por el que se aprueba el II Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva Natural Parcial de la Ría de Villaviciosa.

Ley 4/89, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna silvestres.

- Páginas web consultadas:

www.asturias.es

www.asturiasverde.com

www.bomberosdeasturias.es

www.escra.es

www.ine.es

www.ign.es

www.glcapp.glc.umd.edu

www.lne.es

www.marm.es

www.redeuroparc.org